

Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie

Herausgegeben
von der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft

unter der Redaktion von

Dr. W. Eitel

Professor an der Technischen Hochschule
Berlin-Charlottenburg

Sechzehnter Band

Zweiter Teil

Mit 25 Abbildungen im Text

Berlin W 35

Selbstverlag der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft e. V.

Buchhändlerischer Vertrieb durch die Verlagsbuchhandlung Gustav Fischer in Jena

1932

Auszug aus der Satzung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft (E. V.)

Die Deutsche Mineralogische Gesellschaft sucht die Mineralogie, Kristallographie und Petrographie in Forschung und Lehre zu fördern, besonders auch die wissenschaftlichen Beziehungen ihrer Mitglieder zu pflegen. Alljährlich veranstaltet sie eine Versammlung mit Vorträgen, Berichten und Exkursionen; ferner gibt sie als eigenes Organ die Zeitschrift „Fortschritte der Mineralogie usw.“ heraus. Die älteren Bände stehen den Mitgliedern zu Vorzugspreisen zur Verfügung. Diese umfangreiche Veröffentlichung bringt hauptsächlich Darstellungen der Fortschritte, die auf verschiedenen Teilgebieten in der letzten Zeit gemacht worden sind, und wird den Mitgliedern unentgeltlich übersandt. Der Jahresbeitrag beträgt gegenwärtig 10 RM.

Der Vorstand besteht zurzeit aus folgenden Herren:

Vorsitzender: Prof. Dr. **W. Eitel**, **Berlin-Dahlem**, Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung, Faradayweg 16

I. Stellvertreter: Prof. Dr. **O. Weigel**, **Marburg a. L.**, Miner.-Petrogr. Inst. der Universität

II. Stellvertreter: Prof. Dr. **H. Rose**, **Hamburg 36**, Miner.-Petrogr. Inst. der Universität, Esplanade 1c

Schriftführer: Prof. Dr. **H. von Philipsborn**, **Freiberg i. Sa.**, Miner. Inst. der Bergakademie

Schatzmeister: Dr. **R. Thost**, **Berlin W 35**, Schöneberger Ufer 12a.

Zahlungen sind zu richten an den Schatzmeister, oder an die **Deutsche Mineralogische Gesellschaft, Berlin W 35**,
Postscheckkonto Berlin NW 7, Nr. 112678, oder
Bankkonto Nr. 10666 bei der Dresdner Bank, Depositenkasse 52, Berlin W 9, Potsdamerstr. 20.

Petrographie und Geochemie

Die geochemische und kosmische Häufigkeit des Bleis

Von

G. v. Hevesy,
Freiburg i. B.

Neben dem Interesse, das der Frage der Häufigkeit des Bleis wie der jedes Grundstoffes für die Geochemie und der Lehre des Kernbaues zukommt, ist das in dieser Abhandlung besprochene Problem auch aus dem Grunde von Bedeutung, daß das Blei eines der ganz wenigen Elemente ist, deren Atome zum Teil erst nach der Entstehung der Erde gebildet worden sind, eine Eigenschaft, welche die Aufwerfung und Beantwortung mancher mit der Häufigkeit des Bleis in engem Zusammenhange stehenden Probleme zuläßt, wie etwa die der geologischen Zeitmessung. Von den stabilen Atomarten des Bleis (Tab. 1) sind die drei häufigsten (206, 207 und 208), die uns in diesem Zusammenhange in erster Linie interessieren, gesperrt gedruckt.

Atomarten des Bleis

Tabelle 1

Atomart	Halbwertszeit	Atomgewicht ¹⁾
Radium B	27 Minuten	214
Thorium B	10,6 Stunden	212
Actinium B	36 Minuten	211
Radium D	22 Jahre	210
Blei 209	stabil	209
Blei 210	stabil	210
Thorium D (Thoriumblei)	stabil	208
Actinium D (Actiniumblei)	stabil	207
Blei 207	stabil	207
Radium G (Uranblei)	stabil	206
Blei 205	stabil	205
Blei 204	stabil	204
Blei 203	stabil	203

¹⁾ Die Atomgewichte sind abgerundet; keine dieser Zahlen dürfte in Wirklichkeit nach den massenspektroskopischen Erfahrungen, die bei anderen, leichter zugänglichen Elementen gemacht worden sind, eine ganze Zahl sein.

Als die Erdmasse sich noch in flüssig-gasförmigem Zustand befand, hatten die Bleiisotope Gelegenheit, sich zu vermischen, und es kam zur Bildung des Mischelements, das wir „gewöhnliches“ Blei nennen. Eine Entmischung von Mischelementen ist nur durchführbar, wenn einzelne Atome oder Ionen in hochverdünntem Zustande der auswählenden Wirkung der Schwerkraft bzw. des elektrischen oder magnetischen Feldes ausgesetzt werden. Da im flüssig-gasförmigen Magma solche Verhältnisse nicht vorhanden waren, hat das Mischelement Blei durch Entmischung seine Zusammensetzung nicht ändern können, und das gewöhnliche Blei hat deshalb eine konstante Zusammensetzung, ein konstantes Verbindungsgewicht. Nach den massenspektroskopischen Messungen ASTON's ist das gewöhnliche Blei ein Gemisch von Thoriumblei, Uranblei, Actiniumblei, einer weiteren Bleiart vom Atomgewicht 207, deren Ursprung nicht bekannt ist, und von welcher wir nicht wissen, ob sie ihre Existenz einem Zerfalls- oder einem Aufbauvorgang verdankt¹⁾, und in kleinen Mengen vorhandenen Atomarten vom Atomgewicht 203, 204, 205, 209 und 210. Der Anteil der drei häufigsten Atomarten am Aufbau des gewöhnlichen Bleis ist der folgende²⁾:

Pb_{206}	Pb_{207}	Pb_{208}
28%	20%	50%

Aus dem flüssig-gasförmigen Magma erhält man aus den oben besprochenen Gründen Blei stets nur in der Form von gewöhnlichem Blei. Die gesonderten Bleiarten, wie das Thoriumblei oder das Uranblei (das letztere stets von Actiniumblei begleitet) erhalten wir nur, wenn das Element in fester Phase, in einem festen Gestein oder Mineral eingeschlossen, entstanden ist. Die Bestimmung des Atomgewichts des Bleis liefert demnach einen eindeutigen Nachweis der Vorgeschichte des Mediums, aus welchem das Blei extrahiert worden ist, ebenso wie das Verhältnis der Menge des Uranbleis³⁾ und ihrer Muttersubstanz, deren Zerfallsperiode ja bekannt ist, das Alter des betreffenden Gebildes liefert. Wir kommen später auf die Frage

¹⁾ Daß außer dem Actiniumblei (207) noch eine andere Bleiart 207 in gewöhnlichem Blei vorhanden ist, wird von Aston daraus gefolgert, daß das gewöhnliche Blei wesentlich mehr von Isotopen 207 enthält (20%) als das Uranblei, Actiniumblei gefunden wird. Eine sehr genaue Atomgewichtsbestimmung würde womöglich einen Unterschied zwischen den zwei Bleiarten 207 erkennen lassen, das ja in keinem Falle genau 207 ist.

²⁾ Aston, Nature 1927, Bd. 120, S. 224; ebenda 1932, Bd. 129, S. 649.

³⁾ Das Blei von Thormineralien ist der auslaugenden Wirkung verwitternder Einflüsse wesentlich mehr zugänglich als das in Uranmineralien befindliche Blei. Diese Verschiedenheit wird damit in Verbindung gebracht, daß es kein dem schwerlöslichen Bleiuranat entsprechendes Bleithorat gibt. Aus dem erwähnten Grunde wird das Verhältnis Blei/Thorium-Blei in der Regel zur Altersbestimmung nicht herangezogen (vgl. G. KIRSCH, Geologie und Radioaktivität, Berlin 1928, S. 149).

der Altersbestimmung zurück und wollen zunächst die Methoden besprechen, die zur Ermittlung der geochemischen Häufigkeit des Bleis führen.

Analytische Methoden und ihre Ergebnisse

Wenn auch Blei den Hauptbestandteil recht häufiger Mineralien, in erster Linie von Galenit und dessen Zersetzungsprodukten bildet, ist für die geochemische Häufigkeit des Bleis in erster Linie der Bleigehalt der Eruptivgesteine, in zweiter der der Sedimente ausschlaggebend. Die Ermittlung des Bleigehalts erfolgt am zweckmäßigsten nach einer im folgenden besprochenen chemischen Methode¹⁾.

Gang der Gesteinsanalyse

Bei der Bestimmung der kleinen in den Gesteinen vorhandenen Bleimengen muß ein besonderes Gewicht darauf gelegt werden, einerseits zu verhindern, daß die Gesteinsproben durch die im Laboratoriumsstaub, oder in den verwendeten Chemikalien vorhandenen Bleimengen verunreinigt werden, andererseits, daß das in den Gesteinen vorhandene Blei quantitativ zur Abscheidung gelangt. Um die erstgenannte Störung zu eliminieren, werden die verwendeten Proben unter besonderen Schutzmaßnahmen pulverisiert und aufbewahrt. Um sich zu vergewissern, daß das gesamte im Gestein vorhandene Blei zur Abscheidung gelangt ist, setzt man den Gesteinsproben das Bleisotop Radium D in bekannter Menge zu; da Blei und Radium D dieselben chemischen Eigenschaften haben, ist eine leicht feststellbare, quantitative Abscheidung vom zugesetzten Radium D gleichbedeutend mit einer quantitativen Abscheidung des Bleis. Sollte die Abscheidung des Radium D nicht quantitativ erfolgt sein, so war die Bleiabscheidung gleichfalls eine mangelhafte und es läßt sich, falls die Ausbeute der Radium-D-Abscheidung bekannt ist, der Analysenfehler korrigieren. Die Verhältnisse werden am besten durch ein Beispiel erläutert¹⁾:

Der Gesteinsprobe wird 1 cm³ einer Radium D-Nitrat-Lösung zugesetzt, die eingedampft eine Aktivität von 8 Skalenteilen pro Minute aufweist, d. h. ein β -Elektroskop wird mit der erwähnten Geschwindigkeit in Gegenwart der Präparate entladen. Das im Gestein vorhandene Blei wird wie unten beschrieben in der Form von Bleisuperoxyd anodisch abgeschieden, und da der Niederschlag das zugesetzte isotope Ra D gleichfalls enthalten muß, so wird er ebenfalls eine Aktivität von 8 Skalenteilen pro Minute aufweisen. Messen wir nur

¹⁾ G. v. HEVESY und R. HOBBIE, Zeitschr. f. analyt. Chemie 1932, Bd. 88, S. 1.

2 Skalenteile, so haben wir $\frac{1}{4}$ des Ra D und somit auch des Bleis im Laufe des Analysenganges verloren und müssen deshalb für diesen Verlust eine Korrektur anbringen. Zur Ausführung solcher Versuche genügen ganz geringe Ra-D-Mengen, die aus einst Radiumemanation enthaltenden Röhrchen gewonnen werden können, da ja beim Zerfall der Radiumemanation Ra D entsteht. Die Ra-D-Menge, die aus einer Röhre gewonnen wird, die etwa 10^{-5} Millicurie Radiumemanation enthielt, genügt bereits, um einen solchen Versuch auszuführen.

Von den verschiedenen Möglichkeiten des Gesteinsaufschlusses wählt man am zweckmäßigsten die mit Flußsäure, um der Gefahr der Adsorption von Blei an Kieselsäuregel zu entgehen. Um eine dauernde radioaktive Kontrolle über die verfolgten Trennungen und Anreicherungen zu haben, setzt man der Analysenprobe wie bereits erwähnt eine bekannte Menge einer Ra-D-Lösung zu, deren Aktivität in Skalenteilen pro Minute im Kubikzentimeter bekannt ist. Nach der restlosen Entfernung der Kieselsäure durch Abrauchen mit Flußsäure wird der — zuletzt schwefelsaure — Rückstand des Aufschlusses auf ein Volumen von 1 l gebracht. Es liegen jetzt die leichtlöslichen Sulfate in ziemlich verdünnt schwefelsaurer Lösung vor, während die der alkalischen Erden größtenteils unlöslich zurückbleiben. Der Bodenkörper enthält infolge der Isomorphie zwischen Bariumsulfat, Strontiumsulfat und Bleisulfat den größten Teil des Bleis als Sulfat eingebaut. Er wird abfiltriert, im Platintiegel mit Kalium-Natrium-Karbonat aufgeschlossen und in der üblichen Weise in das Acetat übergeführt. Nunmehr liegen zwei Lösungen vor — das schwefelsaure Filtrat des Aufschlusses und die essigsaurer Lösung der alkalischen Erden — die das gesamte Blei des Gesteins enthalten. Zur weiteren Anreicherung wird jede der Lösungen mit reinstem Silbersulfat versetzt (1 mg auf 100 ccm Lösung) und aus der Siedehitze bis zum Erkalten sehr langsam mit Schwefelwasserstoff gefällt. Die erhaltenen Niederschläge, in denen das Silbersulfid das Bleisulfid quantitativ mitgerissen hatte, werden abfiltriert, vereinigt und in konz. Salpetersäure gelöst. Die außer Silber und Blei in der Fällung noch anwesenden Schwermetallsulfide des Gesteins beeinträchtigen die Untersuchung nicht.

Die Lösung der Sulfide, aus denen sich durch Oxydation die Sulfate gebildet hatten, werde zur Trockne verdampft, mit 0,001 n-Salpetersäure aufgenommen und in einem Volumen von 20 ccm und in Gegenwart von Harnstoff mit 2 V. Klemmenspannung 20 Minuten lang elektrolysiert. Der als Anode dienende Platindraht von 0,6 mm ϕ wird bei 250° getrocknet und zuletzt auf der Mikrowage gewogen. Zur Umrechnung des gewogenen Bleisuperoxyds auf Blei dienen die von H. TÖPELMANN¹⁾ mitgeteilten Faktoren.

¹⁾ H. TÖPELMANN, Journ. f. prakt. Chem. 1929, Bd. 121, S. 289.

Radioaktive Kontrolle

Bei der radioaktiven Kontrolle, Vergleich der Aktivität des zugesetzten Ra D und der des elektrolytischen Bleisuperoxydniederschlags, müssen folgende Punkte berücksichtigt werden: a) Wir messen nicht die Strahlung des Ra D, sondern die β -Strahlen des daraus entstehenden Ra E. Deshalb nimmt man die radioaktive Messung in solchen Fällen erst vor, nachdem das Ra D mit dem Ra E ins radioaktive Gleichgewicht gekommen ist, das praktisch nach etwa 50 Tagen (die Halbwertszeit des Ra E beträgt 5 Tage) erfolgt. Diese Überlegung bezieht sich auf den Fall, daß sich allein das Ra D abscheidet, doch zeigt die Messung desselben Niederschlags zu sehr verschiedenen Zeiten, daß das Radium-E-Superoxyd (das chemisch dem Wismutsuperoxyd entspricht) gleichfalls zur Abscheidung gelangt und deshalb ein langes Warten vor der endgültigen Messung nicht notwendig ist. Es folgt aus dieser Feststellung, daß der Bleisuperoxydniederschlag auch nahezu das gesamte im Gestein vorhandene Wismut enthält, doch wird das Ergebnis der Bleianalyse durch diese Feststellung nicht beeinträchtigt, da die Wismutmengen, die in den Gesteinen angetroffen werden, mit den Bleimengen verglichen vernachlässigbar sind. b) Der zweite Punkt, der bei der radioaktiven Messung berücksichtigt werden muß, ist die Absorption der Strahlung im Niederschlag. Um diesen Fehler zu eliminieren, löst man den Superoxydniederschlag in Essigsäure auf und dampft die Lösung auf einem Uhrglas ein; dadurch tritt eine weitgehende Verteilung der ohnehin sehr geringen Bleimasse auf. Man vergleicht die Aktivität dieses Uhrglases mit der Aktivität eines gleich großen, auf dem ein bekanntes Volumen der Ra-D-Lösung eingedampft wurde. Wie bereits erwähnt, wird die letztgenannte Lösung so gewonnen, daß man die Wände eines einst Radon enthaltenden Röhrchens mit verdünnter Säure behandelt.

Die radioaktive Kontrolle erweist sich von großem Nutzen. Bei verschiedenen Analysen, wie z. B. bei der des Dunits (Jackson Co.) und des Basalts (Giant Causeway) haben der Verfasser und HOBIE zuerst nur einen außerordentlich geringen Bleigehalt feststellen können. Ohne radioaktive Kontrolle hätte keine Möglichkeit bestanden zu erkennen, ob ein Analysenfehler vorlag oder ob das Gestein sehr wenig Blei enthält. Die radioaktive Messung der Anode zeigte jedoch, daß nur ein ganz geringer Bruchteil des der Probe zugesetzten Ra D zurückgewonnen worden ist. Daraufhin wiederholten wir die Elektrolyse, diesmal in der Wärme (75°); das Ergebnis war z. B. beim dotit, eine Abscheidung von 71 % der zugesetzten Aktivität, woraus gefolgert werden konnte, daß der gleiche Prozentsatz des im Gestein befindlichen Bleis nunmehr als anodischer Niederschlag vorlag.

Kolumne 4 in Tabelle 2 enthält das anodisch festgestellte Blei, während Kolumne 7 die auf Grund der radioaktiven Kontrolle korrigierten Daten angibt. Man sieht, daß die Abscheidung in den allermeisten Fällen keine quantitative ist und es deshalb von größter Bedeutung war, das Ergebnis auf Grund der radioaktiven Kontrolle zu korrigieren.

Colorimetrische Kontrolle

Obzwar unter den Versuchsbedingungen, unter welchen die Elektrolyse ausgeführt worden, ist, außer Blei nur Wismut und Thallium sich anodisch abscheiden können und die Häufigkeit der letzteren verglichen mit der des Bleis zu vernachlässigen ist, haben wir uns trotzdem durch eine colorimetrische Kontrolle überzeugt, daß der anodische Niederschlag das Peroxyd des Bleis ist. Zu diesem Zweck diente die von A. NECKE, P. SCHMIDT und M. KLOSTERMANN¹⁾ beschriebene Reaktion mit Tetramethyldiaminodiphenylmethan. Das Reagens wurde nach den Angaben der Verfasser hergestellt und genügte den vorgeschriebenen Prüfungen. Zur Bereitung einer Standardlösung diente ein Präparat Bleinitrat pro anal. von KAHLBAUM. Zur Ausführung der Messungen wurde ein Keilcolorimeter nach AUTENRIETH-KÖNIGSBERGER²⁾ benutzt. Die Übereinstimmung zwischen gravimetrischer und colorimetrischer Bestimmung zeigt die Tabelle 2.

Spektroskopische Methoden, die sonst in der Mineralanalyse eine hervorragende Rolle spielen, können mit der geschilderten chemisch-elektrochemischen Methode nur in seltenen Fällen in Wettbewerb treten. Die optisch-spektroskopische Methode fordert die Entfernung der Kieselsäure, bevor die Bestimmung ausgeführt wird, und wenn einmal der Aufschluß ausgeführt ist, so geht die Ausführung der oben geschilderten übrigen chemischen Operationen recht prompt vor sich. Die Genauigkeit der geschilderten Methode übertrifft die der optischen ganz wesentlich, auch bleibt ihre Empfindlichkeit hinter der der optischen Methode durchaus nicht zurück, bei der Aufarbeitung von 10 g läßt sich noch ein Bleigehalt von 1 in 10^6 quantitativ nachweisen. Die Empfindlichkeit der röntgenspektroskopischen Methoden reicht in vielen Fällen nicht aus, um das Blei in Gesteinen unmittelbar zu bestimmen, so daß man auch hier zunächst zu einer Anreicherung schreiten müßte. Ungünstig wird die Bleibestimmung durch die Koinzidenz der zwei stärksten Linien des L-Spektrums der α_1 - und β_1 -Linie beeinflusst, die mit einer starken Linie des Arsens ($K \alpha_1$) bzw. Zinns ($K^{II} \alpha_1$) zusammenfallen. Die Ko-

¹⁾ A. NECKE, P. SCHMIDT und M. KLOSTERMANN, Z. f. analyt. Chemie 1928, Bd. 73, S. 383.

²⁾ F. AUTENRIETH und J. KÖNIGSBERGER, Z. f. analyt. Chemie 1913, Bd. 52, S. 137.

Tabelle 2
Analysenergebnisse

Das Ergebnis der Analyse von 222 Gesteinsproben ist aus Tabelle 1 zu ersehen

Gesteinsart	Anzahl der Einzelgesteine in der Mischung	Einwaage g	Anodisch gefundene Blei- menge, g Metall pro g Gestein	Colorimetrische Kontrolle der Bleimenge	Wiedergefundene Radio- aktivität des zugesetzten Indikators in %	Bleigehalt des Gesteins, korrigiert auf Grund des Indikatorbefundes
Granite (sehr verschiedene Herkunft)	58	48,0611	18·10 ⁻⁶	16·10 ⁻⁶	53	30·10 ⁻⁶
Kaliumgranite und Kaliumsyenite	24	35,6243	12·10 ⁻⁶	12·10 ⁻⁶	86	14·10 ⁻⁶
Natriumgranite und Natriumsyenite	26	33,1848	9·10 ⁻⁶	8·10 ⁻⁶	73	11·10 ⁻⁶
Shonkinit	2	32,3218	8·10 ⁻⁶	7·10 ⁻⁶	70	10·10 ⁻⁶
Gabbros und ähnliche Gesteine	67	33,6322	4·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶	80	5·10 ⁻⁶
Essexite und ähnliche Gesteine	40	32,6559	7·10 ⁻⁶	8·10 ⁻⁶	80	10·10 ⁻⁶
Lherzolit (Baltimore, Maryland)	1	24,6817	15·10 ⁻⁶	13·10 ⁻⁶	69	19·10 ⁻⁶
Kimberlit (Dutoitspan Bergwerk)	1	33,0458	12·10 ⁻⁶	11·10 ⁻⁶	69	16·10 ⁻⁶
Amphibolit (Wesselton Bergwerk, Südafrika)	1	28,9050	10·10 ⁻⁶	11·10 ⁻⁶	73	15·10 ⁻⁶
Basalt (Giant's Causeway)	1	28,0984	4·10 ⁻⁶	5·10 ⁻⁶	100	4·10 ⁻⁶

Für den durchschnittlichen Bleigehalt der 222 Gesteinsarten ergibt sich 16·10⁻⁶ g pro g, während CLARK und STEIGER¹⁾ 7,5×10⁻⁶ g pro g gefunden haben.

inzidenz läßt sich vermeiden durch Arbeiten mit sehr großer Dispersion bzw. mit sehr engem Spalt, doch wird durch diese Maßregeln die Empfindlichkeit der Methode ungünstig beeinflusst. Beim Nachweis größerer Bleimengen kommt aus den erwähnten Gründen und auch weil man hier andere Linien zum Vergleich heranziehen kann, eine Störung infolge Koinzidenz nicht mehr in Betracht. Die geschilderte Sachlage hat den Verfasser und R. HOBIE veranlaßt, bei ihren Untersuchungen, die 222 Gesteinsproben umfaßten, die chemische Methode zu verwenden, deren Zuverlässigkeit durch die Einführung der radioaktiven Kontrolle eine wesentliche Erhöhung erfahren hat. Die Ergebnisse der Untersuchung sind aus Tabelle 2 zu ersehen, die einen mittleren Bleigehalt von 16×10⁻⁶ g pro g Gestein ergeben. SMYTHE²⁾ gibt für den mittleren Bleigehalt von 2950 Proben des Whin Sill (Nord England) 24×10⁻⁶ g pro g Gestein an. Ferner liegen Angaben von CLARK und STEIGER³⁾ über den Bleigehalt von Eruptivgesteinen vor. Sie finden für den durchschnittlichen Blei-

¹⁾ F. W. CLARK und G. STEIGER, Journ. Washington Acad. Science 1914, Bd. 4, S. 58.

²⁾ J. A. SMYTHE, Trans. Nat. Hist. Soc. Northumberland 1930, S. 32 und A. HOLMES l. c.

³⁾ F. W. CLARKE und G. STEIGER, Journ. Wash. Acad. Sc. 1914, Bd. 4, S. 58.

gehalt von 329 amerikanischen Eruptivgesteinsproben $7,5 \times 10^{-6}$ g pro g Gestein. Nähere Angaben über den Analysengang sind nicht zugänglich, vermutlich war dieser dem oben beschriebenen ähnlich, doch ohne Anwendung der radioaktiven Kontrolle und der auf Grund dieser vorgenommenen Korrektur der festgestellten Bleimenge, die in unserem Falle zu einer Erhöhung der festgestellten Zahlen führte. Ferner sei eine Bestimmung von J. D. ROBERTSON¹⁾ erwähnt, der für den Mittelwert des Bleigehaltes je eines Granits, Porphyrs und Diabas von Missouri 4×10^{-6} g pro g Gestein fand. Nach der Mitteilung von HILLEBRAND²⁾ variiert der Bleigehalt der Porphyre von Leadville, Colorado zwischen 6×10^{-5} g und 0 g pro g und als Mittelwert von 18 Proben ergab sich 2×10^{-5} g pro g Gestein. Der letzterwähnte Bleigehalt wurde in der bleireichsten Probe von HARRISON³⁾ in eruptiven und metamorphen Gesteinen von British Guyana festgestellt; die meisten Proben zeigten keinen Bleigehalt.

Außer den oben besprochenen Ergebnissen liegen solche über den Bleigehalt von ozeanischem Schlamm sowie von Deltaschlamm vor⁴⁾. Die ersteren Proben wurden von der Challenger Expedition gesammelt, einmal 51 Proben des roten Tiefseetones vom Boden der verschiedensten Ozeane, dann 52 Proben von terrigenem Schlamm aus einer Meerestiefe von 257—3900 m. Der rote Tiefseeton enthielt 7×10^{-5} g pro g, also etwa viermal mehr als der Durchschnitt der Eruptivgesteine; der terrigene Schlamm wesentlich weniger, nur 4×10^{-6} g pro g, und noch weniger wurde im Schlamm des Mississippi-Deltas gefunden, nämlich 2×10^{-6} g pro g festgestellt. Das im ozeanischen Schlamm vorhandene Blei könnte zum Teil als Bestandteil des CaCO_3 vorliegen, das 7% des roten Tiefseetones ausmacht. Die Mitteilung von FORCHHAMMER⁵⁾ ist in diesem Zusammenhange von Interesse, der Blei in einer Koralle nachgewiesen hat. Die Ähnlichkeit der Ionengröße des Calciums und Bleis ermöglicht einen solchen Einbau⁶⁾. Dann könnte das Blei im Schlamm in Form von Sulfat oder Sulfid vorliegen, da ja organische Materie bei ihrem Zerfall die Sulfate zu Sulfiden reduziert; ähnlich wie die Einwirkung des Schwefelwasserstoffs auf das Eisensilicat des Meeresbodens zur Bil-

¹⁾ J. D. ROBERTSON, Missouri Geol. Survey 1894, Bd. 7, S. 479.

²⁾ Mon. U. S. Geol. Survey 1888, Bd. 13, S. 350.

³⁾ Siehe F. W. CLARKE, Data of Geochemistry, Washington 1924, S. 641.

⁴⁾ F. W. CLARKE und G. STEIGER, Journ. Wash. Acad. Sci. 1914, Bd. 4, S. 58.

⁵⁾ Siehe F. W. CLARKE, l. c., 1924. Auch in den verschiedenen Lebewesen des Ozeans, in den Weichteilen der Mollusken, Crustaceen usw. wurden Spuren von Blei nachgewiesen.

⁶⁾ Ein Ersetzen von Ca^{++} durch Pb^{++} erfolgt bekanntlich leicht in den Knochen und trägt dadurch zur Gefährlichkeit der Bleivergiftung wesentlich bei. Daß das Pb^{++} in Kalimineralen der Silikatgesteine eintreten kann, haben kürzlich V. M. GOLDSCHMIDT und CL. PETERS (Göttingener Nachr. 1931, S. 271) nachgewiesen.

dung von Pyrit und Marcasit führt, so könnte es auch zur Bildung von Bleisulfid kommen. Endlich kann das Blei im Ozeanschlamm an den Manganknollen gebunden vorliegen; in solchen Knollen wurde der hohe Bleigehalt von 0,1 % festgestellt¹⁾.

Granitische Gesteine und ozeanischer Schlamm sind die Gebilde, welche den höchsten Bleigehalt aufweisen. Die Anreicherung des Bleis in Graniten wird verständlich auf Grund der Anschauungen von V. M. GOLDSCHMIDT²⁾, der hervorhebt, daß wir bei den Vorgängen der Sonderung von Silikatschmelzflüssen in geophysikalischer Beziehung zwei Arten von Anreicherungsprozessen zu unterscheiden haben, nämlich erstens solche, in denen die Anreicherungsprodukte eine höhere Dichte aufweisen als sie den Gesteinen und den Gesteinsschmelzflüssen im Durchschnitt zukommt; solche Produkte werden vorzugsweise gegen das Erdinnere hin absinken. Zu den Vorgängen zweiter Art gehört die Entstehung spezifisch leichter magmatischer Restlaugen, vor allem in Form von wässrigen Lösungen, in denen eine Reihe von Schwermetallen, darunter das Blei angereichert ist. Wir können demnach bei der Erstarrung und Sonderung von Silikatschmelzen zwei extreme Gruppen von Metallen unterscheiden. Solche, welche in schwere Phasen eintreten und daher durch das Schwerfeld der Erde zum Absinken gebracht werden, und solche, die, obgleich an sich in reinem Zustande von hohem spezifischen Gewicht, durch das Eintreten in leichte wässrige Phasen vorzugsweise nahe der Oberfläche angereichert werden. Blei gehört zur zweiten Gruppe, seine eigentliche Heimat ist eine hydrothermale Paragenese³⁾.

Die Häufigkeit des Uranbleis

In dem Vorangehenden haben wir den gesamten Bleigehalt der Gesteine betrachtet, ohne zu unterscheiden zwischen dem in den Gesteinen entstandenen Uranblei und dem Blei, welches prägeochemischen Zeiten entstammt. Wir wollen im folgenden diese Unterscheidung durchführen und die Frage der Häufigkeit des Uranbleis untersuchen. In Uranmineralien findet man, wie es die Atomgewichtsbestimmungen lehren, mehr oder minder reines Uranblei, dessen Atomgewicht rund 206 ist. (Die Größe des Packungseffektes, der eine Abweichung von der Ganzzahligkeit bewirkt, ist im Falle des Bleis noch nicht bekannt.) So fand HÖNIGSCHMID für das Atomgewicht des Bleis, das aus der aus Morogoro (Ostafrika) stammenden Pechblende gewonnen worden ist, 206.046. Hier lag ein hochprozentiges Uran-

¹⁾ Challenger Rept. Deep-sea deposits 1891, S. 417.

²⁾ V. M. GOLDSCHMIDT, Metallwirtschaft 1931, Bd. 10, S. 265.

³⁾ Über die Geochemie des Bleies und die Bleierzlagerstätten siehe H. SCHNEIDER-HÖHN, Metallwirtschaft 1928, Bd. 7, S. 191.

blei vor, nur durch Actiniumblei (das aus den bereits auf S. 148 erwähnten Gründen das Uranblei stets enthält) und womöglich durch etwas Thoriumblei verunreinigt. Die mühsame Arbeit, aus den Gesteinen die vorhandenen Bleimengen zu extrahieren und deren Atomgewicht zu bestimmen, wurde noch nicht ausgeführt, doch können wir die obere Grenze des Uranbleigehaltes von Gesteinen aus dem bekannten Urangehalt und dem Alter der Erdkruste berechnen. Die Menge des Ra G (Uranblei) ist gleich

$$\text{Ra G} = \frac{U \cdot \lambda_U \cdot A}{1,15 \cdot 0,88}$$

wo U die Uranmenge, λ_U die Zerfallskonstante des Urans, A das Alter der Erdkruste bedeutet, der Faktor 1,15 das Verhältnis des Atomgewichts des Urans (238) und des Ra G (206) darstellt, und der Faktor 0,88 zum Ausdruck bringt, daß wir in der Rechnung nicht den heutigen Urangehalt der Gesteine zu berücksichtigen haben, sondern den jeweils vorhandenen. Setzt man für den mittleren Urangehalt der Erdkruste 4×10^{-6} g pro g, für das Alter der Erdkruste 1600 Millionen Jahre, für $\lambda_U = 1,5 \times 10^{-4}$ in Jahrmillionen als Einheiten, so ergibt sich für die Ra G-Menge:

$$\frac{4 \times 10^{-6} \cdot 1,5 \times 10^{-4} \cdot 1600}{1,15 \times 0,88} = 9,5 \times 10^{-7} \text{ g pro g Erdkruste,}$$

also nur rund $\frac{1}{20}$ des Gehaltes an Gesamtblei. — Man kann dieselbe Rechnung für den Gehalt an Th D (Thoriumblei) ausführen. Setzt man für den Thoriumgehalt der Erdkruste $1,6 \times 10^{-5}$ g pro g¹⁾, für λ_{Th} 4×10^{-5} , für den Faktor, der das Verhältnis des Atomgewichts des Thoriums und des Thoriumbleis darstellt, 1,12 und für den, der dem Faktor 0,88 beim Uranblei entspricht, 0,968, so ergibt sich für die Th D-Menge:

$$\frac{1,6 \times 10^{-5} \cdot 4 \times 10^{-5} \cdot 1600}{1,12 \times 0,968} = 9,3 \times 10^{-7} \text{ g pro g Erdkruste,}$$

also ungefähr derselbe Gehalt wie der an Uranblei.

Die obigen Zahlen beziehen sich auf den Durchschnitt der Erdkruste bzw. Eruptivgesteine. Man kann dieselbe Rechnung auch für einzelne Gesteine anstellen, falls der Uran-, Thorium- und der Gesamtbleigehalt der betreffenden Probe bekannt ist. Aus den Bleianalysen des Verfassers und R. HOBBIE'S, sowie aus dem bekannten Uran- und Thoriumgehalt der betreffenden Gesteinsart berechnet

¹⁾ Das Thorium/Uran-Verhältnis berechnet sich aus Aston's vorläufigen Zahlen für das Verhältnis von Thoriumblei und Uranblei in gewöhnlichem Blei zu 6, wobei berücksichtigt werden muß, daß die Zerfallsperiode des Thoriums die in die Rechnung eingeht nicht genau bekannt ist. Die in den letzten Jahren ausgeführten Gesteinsanalysen HIRSCH'S (Schweiz. Min. und Petrogr. Mitt. 1928 u. 1929) ergeben für Th/U ungefähr 4, die älteren Messungen dagegen kleinere Werte.

A. HOLMES¹⁾, wie aus Tabelle 3 ersichtlich, das Verhältnis des im Gestein gebildeten (Ra G + Th D) und der gesamten Bleimenge.

Tabelle 3

Gestein	U	Th	Pb	Pb	Pb/Pb
Gabbro	2.4	5.1	1.0	5.0	5
Granit	9.0	20.0	3.7	30.0	8
Basalt	1.5	1.7	0.5	4.0	8
Kimberlit	3.2	4.7	1.1	16.0	15
Amphibolith	0.9	3.1	0.5	15.0	30
Dunit	1.4	3.4	0.6	42.0	70

Pb = die im Gestein gebildete Bleimenge,

Pb = die gesamte im Gestein vorhandene Bleimenge.

Der Uran-, Thorium- und Bleigehalt ist in der Tabelle in g pro 10⁶ g Gestein ausgedrückt. Ferner beträgt nach A. HOLMES das Verhältnis **Pb** Pb in Whin Sill = 60. Das Verbindungsgewicht des aus den Gesteinen extrahierten Bleis dürfte deshalb kaum nachweislich verschieden sein von dem des aus Erzen gewonnenen Bleis. Für die untersuchten Granite, welche in der präcambrischen, caledonischen oder varistischen Zeit entstanden sind, aus verschiedenen Teilen Europas herrühren und das petrographische Gebiet zwischen den Graniten und Granitdioriten umfassen, berechnet sich für das Verbindungsgewicht des in den Gesteinen gebildeten Bleis (Ra G + Th D + Ac D) 206,96. Nehmen wir für das Verbindungsgewicht des Bleis prägeochemischen Alters 207,22 an, so berechnet sich das Verbindungsgewicht des in den Graniten enthaltenen Gesamtbleis zu 207,19. Das Verbindungsgewicht des aus Erzen gewonnenen Bleis konnte immerhin ganz wenig verschieden sein, je nachdem diese Erze zu einem früheren oder späteren Zeitpunkte entstanden sind, und unter der Voraussetzung einer Herkunft aus granitischen Magmen sollte der Wert zwischen 207,22 und 207,19 schwanken, wobei der niedrigste Wert dem am spätesten entstandenen Erz zukäme, da in diesem sich das im Magma gebildete Blei am stärksten bemerkbar machen würde. Eine weitere Verfeinerung der Methode der Atomgewichtsbestimmung würde vermutlich auch im Verbindungsgewicht des aus Duniten, Amphiboliten usw. extrahierten Bleis Unterschiede erkennen lassen. Doch dürfte es sich in allen Fällen um sehr geringe Unterschiede handeln, einmal wegen des Vorherrschens des prägeochemischen Bleis in allen Gesteinsarten, dann aber weil die erniedrigende Wirkung des Uranbleis auf das Verbindungsgewicht teilweise kompensiert wird durch die erhöhende Wirkung des Thoriumbleis.

¹⁾ A. HOLMES, Nature 1931, Bd. 128, S. 1042.

Bevor wir diesen Abschnitt schließen, wollen wir noch auf ein weiteres Bleisotop, auf das Radium D, kurz eingehen. Infolge der kurzen Lebensdauer dieser Bleiart ist ihre Konzentration verschwindend gering und nur von der Größenordnung von 10^{-15} g pro g. Womöglich kommt jedoch auch diesen kleinen Mengen eine geochemische Bedeutung zu. Nach einer kürzlich geäußerten Ansicht von O. HAHN¹⁾ soll der Heliumgehalt des Kochsalzes und Sylvins davon herrühren, daß bei der Bildung dieser Salze aus dem Meerwasser das vorhandene Radium D in die Kristalle eingebaut worden ist und zunächst die Entstehung von Radium F, dann die von Helium (α -Teilchen, die im Kristall stecken blieben) veranlaßte. Eine rund zehnfache Konzentrierung des im Kubikzentimeter Meereswasser vorhandenen Ra D bei der Bildung von Kochsalz und eine rund hundertfache bei der des Sylvins würde ausreichen, um den festgestellten Heliumgehalt zu liefern. Allerdings dürfte die Hauptmenge des Radium D nicht auf den Meeresboden absinken, sondern müßte im Meereswasser gelöst oder suspendiert bleiben. Die Nützlichkeit des Ra D als Indikator bei der Ausführung von Bleibestimmungen haben wir bereits auf S. 151 besprochen.

Die kosmische Häufigkeit des Bleis

Es gibt zwei Wege, die zur Ermittlung der kosmischen Häufigkeit des Bleis führen. Einmal kann man aus der Analyse der Meteorite zu dem gewünschten Schlusse gelangen, dann durch die Untersuchung der Sonnen- bzw. Sternenatmosphäre. Den Bleigehalt von Meteoriten haben vor kurzem J. und W. NODDACK²⁾ bestimmt; nähere Angaben über die verwendete Methoden sind noch ausständig. Ihre Ergebnisse, die sich auf ein Gemisch von 42 Steinmeteoriten verschiedener Herkunft, sowie auf das von 16 Eisenmeteoriten beziehen, sind aus Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4

Bleigehalt in Meteoriten nach NODDACK, in g pro g		
Steinmeteorite	Eisenmeteorite	Troilit
5×10^{-6}	$5,3 \times 10^{-5}$	$7,1 \times 10^{-4}$

Die Steinmeteorite haben demnach einen geringeren Bleigehalt als der Durchschnitt der Eruptivgesteine, der pro g $1,6 \times 10^{-5}$ g Blei enthält. Der Bleigehalt der Steinmeteorite ist nicht sehr verschieden von dem des Basalts und Gabbros, doch ausgesprochen kleiner als

¹⁾ O. HAHN, Naturwiss. 1932, Bd. 20, S. 86.

²⁾ J. und W. NODDACK, Die Naturwissenschaften 1930, Bd. 18, S. 761.

der der terrestrischen ultrabasischen Gesteine. Der hohe Bleigehalt des Troilits illustriert sehr schön die chalcophile Natur des Bleis und die Richtigkeit von V. M. GOLDSCHMIDT'S Anschauungen über die geochemische Verteilung der Elemente; auch die Eisenphase nimmt relativ recht beträchtliche Bleimengen auf, etwa zehnmal soviel als die Silikatphase.

Will man auf Grund der obigen Daten die relative Häufigkeit des Bleis im Kosmos berechnen, so muß man die relative Häufigkeit der Steinmeteorite und Eisenmeteorite kennen, einer besonderen Berücksichtigung bedarf ferner noch der Troilit als sulfidischer Gemengteil der Meteorite, deren Menge nach FARRINGTON ungefähr 5 % beträgt. Das Verhältnis des kosmischen Silikat- und Eisenmaterials kann man folgendermaßen schätzen: Man macht die Annahme, daß die mittlere Zusammensetzung des gesamten meteoritischen Materials gleich der der Gesamterde ist und berechnet aus seismischen Daten, wie groß der Eisen-, Nickel- und der Silikatanteil der Gesamterde ist. Man erhält dann die Zahlen:

Anteil der Steinmeteorite	52 %
„ „ Eisenmeteorite	43 „
„ des Troilits	5 „.

Einen anderen Weg zur Berechnung der relativen Häufigkeit der Steinmeteorite, Eisenmeteorite und des Troilits schlagen J. und W. NODDACK¹⁾ ein. Die letzteren berechnen die mittlere Dichte der Meteoriten aus der mittleren Dichte des Merkurs, der Venus, der Erde, des Mondes und des Mars, von der Überlegung ausgehend, daß die Meteorite selbständige kleine Weltkörper sind, die ihre Bahnen um die Sonne im Gebiet der vier inneren Planeten haben. Kennt man die Dichte des durchschnittlichen Meteoritenmaterials, so läßt sich der Anteil an „Stein“ und „Eisen“ im letzteren berechnen, nur muß noch der Troilitanteil berücksichtigt werden, der gleich 5,5 % angenommen wird. Als mittlere Dichte des Meteoritenmaterials berechnen J. und W. NODDACK 5,1 (die der Erde ist gleich 5,56, also nur wenig verschieden), wobei sie die Dichte der Steinmeteoriten gleich 3,3, die der Eisenmeteoriten gleich 7,8 und die des Troilits gleich 4,8 setzen. Es ergeben sich dann die relativen Massen

Steinmeteorite	56,3
Eisenmeteorite	38,2
Troilit	5,5,

also nahezu dieselben Zahlen wie die oben auf Grund seismischer Daten berechneten.

Auf Grund der obigen Daten berechnet sich dann der Anteil des

¹⁾ J. und W. NODDACK, l. c.

Bleis im Gesamtmeteoritenmaterial zu 6×10^{-5} g pro g. Sehen wir vom sehr häufigen Wasserstoff und Helium aus den noch zu erwähnenden Gründen ab, so liefert die obige Zahl auch die Häufigkeit des Bleis im kosmischen Material. Bei der Bildung der Erde und des meteorischen Materials folgte nämlich die überwiegende Masse des Wasserstoffs und Heliums nicht mit, da die Gravitationskräfte in den entstandenen, verhältnismäßig kleinen Einheiten, im Gegensatz zu denen auf der Sonne, nicht genügten um bei der herrschenden hohen Temperatur die leichten Gase zurückzubalten. Ordnet man alle Elemente nach abnehmender Häufigkeit, so nimmt das Blei den 34sten Platz ein¹⁾.

Der andere Weg, der zur Ermittlung der kosmischen Häufigkeit des Bleis führt, gründet sich auf die Intensitätsmessung der Spektrallinien der Elemente im Spektrum der Sonnenatmosphäre. Nach den Bestimmungen RUSSEL'S²⁾ nimmt das Blei auch hier den 34sten Platz in der nach abnehmender Häufigkeit geordneten Reihe der Elemente ein. Teilen wir die Elemente nach abnehmender Häufigkeit in drei Gruppen, so befindet sich das Blei demnach zu Beginn der mittleren Gruppe.

Die Kenntnis der kosmischen Häufigkeit des Bleis, Urans und Thoriums ermöglicht die untere Grenze des Alters der Elemente zu schätzen. Ähnlich, wie wir aus der Menge des angesammelten Uranbleis und des Urans auf das Alter des Minerals und der geologischen Epoche, in welchem es entstanden ist, schließen können³⁾, so können aus der kosmischen Häufigkeit des Bleis, Urans und Thoriums Schlüsse über das Alter der übrigen Elemente des Erdmaterials gezogen werden. Rund ein Drittel des heute vorhandenen Gesamtbleis hat das Atomgewicht 206 und entstammt vermutlich dem Zerfall des Urans. Wir haben demnach mit einer Bleimenge von 2×10^{-5} g pro g und einer Uranmenge von 5×10^{-7} g pro g durchschnittlichen Meteorit- bzw. Erdmaterials zu rechnen, was zu einem Alter des Erdmaterials von $2,4 \times 10^{10}$ Jahren führt, also zu einem fünfzehnmal höheren Wert als das Alter der ältesten Mineralien. Eine Berechnung, die allerdings auf den Voraussetzungen beruht, daß einerseits alles Blei 206 seine Existenz dem Zerfall des Urans verdankt, andererseits, daß die Zerfallszeit des Urans in der genannten enormen Zeitspanne keine Änderung erlitten hat. Während für die Richtigkeit der letzterwähnten Zahl nicht gebürgt werden kann

¹⁾ Über die Häufigkeit der Elemente in Meteoriten siehe J. und W. NODDACK Die Naturwissenschaften 1930, Bd. 18, S. 761.

²⁾ H. N. RUSSEL, Astrophys. J. 1929, Bd. 70, S. 11.

³⁾ Eine ausführliche Diskussion der Altersbestimmung von Mineralien und geologischer Epochen befindet sich im Beitrag von A. HOLMES im Bulletin of the National Research Council No. 80 (1931).

dürften die Angaben über die Häufigkeit des Bleis in Eruptivgesteinen eine recht große Zuverlässigkeit beanspruchen, eine Aussage, die bis zu einem gewissen Grad auch für die Angaben über die kosmische Häufigkeit der Elemente gilt. Wenn auch die Feststellung, daß der Platz des Bleis in der meteoritischen Häufigkeitszahl einerseits und in der astrospektralen andererseits genau derselbe ist, auf einem Zufall beruhen sollte, so kann in Anbetracht der sehr bemerkenswerten nahen Übereinstimmung der Ergebnisse der zwei verschiedenen Methoden kaum daran gezweifelt werden, daß die kosmische Häufigkeit des Bleis durchaus nicht sehr gering ist; nur 33 von den 92 Elementen sind dem Blei an Häufigkeit überlegen. Zum Schluß bringen wir in Tabelle 5 eine Zusammenstellung des mittleren Bleigehaltes verschiedener Gebilde.

Tabelle 5

Zusammenstellung des Bleigehalts von 1 g einer Durchschnittsprobe

Eruptiv- gesteine	Roter Tiefseeton	Terrigener Schlamm	Steinmeteorite	Eisen- meteorite	Troilit
2×10^{-5}	7×10^{-5}	$0,4 \times 10^{-5}$	$0,5 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}	7×10^{-4}

Freiburg i. B.

Institut für physikalische Chemie der Universität.

Präzisionsbestimmungen von Gitterkonstanten mittels der Pulvermethoden

Von

G. Menzer,

Berlin

Mit 25 Abbildungen im Text

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	163
I. Methode von DEBYE und SCHERRER	164
A. Grundzüge der Methode	164
B. Fehler	167
1. Kammerfehler	168
2. Filmschrumpfung während des Entwicklungsprozesses	169
3. Einfluß der Breite und Divergenz des Primärstrahls auf die Breite der Interferenzkurven	169
4. Einfluß der Präparatdicke auf die Verschiebung der Beugungs- kurven	172
5. Exzentrizität des Präparats	176
6. Inhomogenität der Röntgenstrahlen	176
7. Ablesungsfehler	178
C. Korrekturen. Bestimmung der Gitterkonstanten	178
1. Korrekturen	178
2. Gitterkonstantenbestimmung	181
3. Fehlergrenzen	182
D. Präzisionsmethoden	183
a) Technische Verbesserungen der Kammern	183
1. Methode von HULL, 1921	183
2. Methode von KÜSTNER, 1922	184
3. Methode von VAN ARKEL, 1926	185
4. Methode von DEHLINGER, 1927	187
5. Methode von SACHS und WEERTS, 1930	187
b) Eichung der Kammer mit einer Vergleichssubstanz	189
6. Methode von WESTGREN und PHRAGMÉN, 1924	189
7. Methode von KOLKMEIJER, 1929	190

	Seite
8. Methode von REGLER, 1930	190
9. Methode von KOLKMEIJER und MOESVELD, 1931	191
c) Eichung jeder einzelnen Aufnahme mit einer Vergleichssubstanz	192
10. Methode von DAVEY, 1921	192
11. Methode von WYCKOFF, 1923	193
12. Methode von MENZER, 1928	195
II. Fokussierungsmethoden	198
1. Methode von SEEMANN, 1919	200
2. Methode von BRENTANO, 1919	204
3. Methode von W. H. Bragg, 1921	205
Zusammenfassung	207

Einleitung

Es wird häufig die Ansicht vertreten, daß eine genaue Bestimmung von Gitterkonstanten unnötig sei. Solange es sich darum handelte, den Strukturtyp eines Kristalls zu ermitteln, war eine genaue Gitterkonstantenbestimmung überflüssig, manchmal sogar irreführend, nämlich dann, wenn die Gitterkonstanten eines natürlichen Minerals, d. h. im allgemeinen eines Mischkristalls, ohne genauen Fundort und ohne Angabe der chemischen Zusammensetzung mitgeteilt wurden. Auch auf den physikalisch-kristallographischen Gebieten der modernen Kristallstrukturforschung, wie z. B. bei den Beziehungen zwischen Ionen oder Atomen im Kristallgitter, den Zusammenhängen zwischen verschiedenen Strukturen, dem Beugungsvermögen der Atome, den Beziehungen zwischen Kristallstruktur und Kristalloptik scheint Präzision bei der Gitterkonstantenbestimmung nicht notwendig zu sein.

Einige andere Gebiete stellen jedoch schon größere Ansprüche an die Genauigkeit der Gitterkonstanten, z. B. die Erforschung der Mischkristalle. Eine genauere Messung der Glanzwinkel würde auch die Strukturbestimmung manches feinkörnigen niedrigsymmetrischen Minerals ermöglichen und manchen Fall von Pseudosymmetrie aufklären. Von besonderer Bedeutung für Mineralogie und Petrographie wird jedoch die Präzisionsmessung von Gitterkonstanten höchstwahrscheinlich dann werden, wenn die Pulvermethode als Methode zur Mineralbestimmung Anwendung findet.

Im Jahre 1916 zeigten DEBYE und SCHERRER, daß die Bestimmung einer Kristallstruktur nicht nur auf Grund der Beugung von Röntgenstrahlen an einem einzelnen Kristall, dessen Orientierung gegenüber dem Primärstrahl bekannt ist, durchgeführt werden kann, sondern auch durch Beugung von Röntgenstrahlen an einem feinen Pulver von regellos nebeneinanderliegenden Kriställchen oder Kristallsplintern. In den folgenden Jahren wurde eine Reihe von Pulvermethoden be-

schrieben, die nicht wie die Methode von DEBYE und SCHERRER ein schmales Bündel paralleler Röntgenstrahlen verwendet, sondern ein divergentes Strahlenbündel, das nach der Beugung am Kristallpulver in gewissen Richtungen wieder konvergiert (Fokussierungsmethoden von SEEMANN, BRENTANO, W. H. BRAGG). Gleichzeitig wurde die Genauigkeit der DEBYE-SCHERRER-Methode durch Verfeinerung der Apparatur und durch experimentelle und rechnerische Eliminierung der Fehler erhöht; die Modifikationen der DEBYE-SCHERRER-Methode, die eine Erhöhung der Genauigkeit bezwecken, sind weiter unten als Präzisionsmethoden einzeln aufgeführt.

I. Methode von DEBYE und SCHERRER

A. Grundzüge der Methode

Die von DEBYE und SCHERRER¹⁾ und kurz darauf von HULL²⁾ beschriebene Pulvermethode ist im wesentlichen folgende (Fig. 1): Aus dem Röntgenlicht, das von der Antikathode einer Röntgenröhre ausgeht

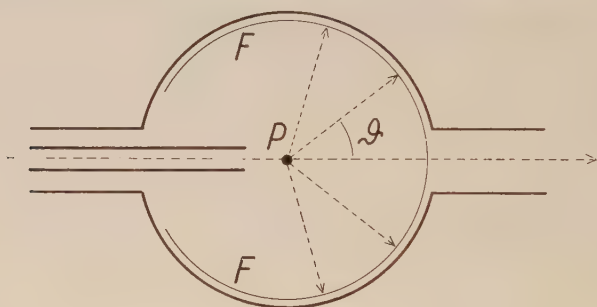


Fig. 1.

Einheitlich für alle Zeichnungen bedeuten: *P* Präparat, *F* Film, ϑ Beugungswinkel.

und hauptsächlich aus der Eigenstrahlung eines Elements besteht, wird durch eine lange röhrenförmige Blende oder zwei hintereinandergestellte Blenden ein schmales Bündel von annähernd parallelen Röntgenstrahlen hindurchgelassen. Die Strahlen fallen auf ein Pulverpräparat und werden an den einzelnen Pulverteilchen nach der BRAGG'schen Gleichung $2d \sin \vartheta/2 = n\lambda$ gebeugt. Sämtliche an den verschiedenen Pulverteilchen unter einem der möglichen Beugungswinkel ϑ abgelenkten Strahlen bilden die Mantelfläche eines Kegels mit dem

¹⁾ P. DEBYE u. P. SCHERRER, Phys. Zeitschr. 1916, Bd. 17, S. 277—283; 1917, Bd. 18, S. 291—301.

²⁾ A. W. HULL, Phys. Rev. (2) 1917, Bd. 9 (Proc. Phys. Soc. Amer.); 1917, Bd. 10, S. 661—696.

Öffnungswinkel 2θ und dem Primärstrahl als Achse. Die gebeugten Strahlen werden auf einer photographischen Schicht aufgefangen, und man kann aus dem Ort der Schwärzung auf der photographischen Schicht den Winkel θ bestimmen.

DEBYE und SCHERRER benutzten eine lichtdicht abschließbare zylinderförmige Kammer von ca. 57 mm innerem Durchmesser, also ca. 180 mm innerem Umfang, an deren zylindrischer Innenwand der photographische Film angelegt wurde. Als Blende diente ein längeres Bleiröhrchen mit einem inneren Durchmesser von 2,5 mm. Das Pulver wurde zu einem zylindrischen Stäbchen von 2 mm Dicke und 10 mm Länge zusammengepreßt (gelegentlich mit Kollodium überzogen) und in der Kammerachse senkrecht zum Primärstrahl aufgestellt. Die von DEBYE und SCHERRER gegebene Aufnahmeanordnung ist in der Folge vielfach geändert worden; die Abänderungen sind im wesentlichen folgende:

Strahlung: Zur Untersuchung wurde außer der von DEBYE und SCHERRER benutzten Cu-K-Strahlung die K-Strahlung von Cr, Fe, Ni, Mo und W. in einigen speziellen Fällen auch Strahlungen von zwei Elementen angewandt. Meist wurden die Beugungskurven durch die $K\alpha$ - und die $K\beta$ -Strahlung erzeugt, häufig wurde die $K\beta$ -Strahlung durch Anwendung von Filtern sehr stark geschwächt. Die Cu- $K\beta$ -Strahlung wird z. B. durch 0,01 mm dicke Ni-Folien auf ungefähr 10 % ihrer ursprünglichen Intensität, d. h. auf ca. 1,5–2 % der Cu- $K\alpha$ -Strahlung herabgesetzt. Für die Beseitigung der Mo- $K\beta$ -Strahlung werden ZrO_2 -Filter verwandt (S. 184 u. 193).

Blenden: An Stelle der röhrenförmigen Bleiblennde benutzt HULL als erster zwei voneinander um mehrere Zentimeter entfernte Lochblenden oder Spaltblenden von 0,2–1,5 mm Spaltbreite und einer bedeutend größeren Höhe. Eine große Anzahl der verschiedenen Typen von Spaltblenden sind bei den einzelnen Präzisionsmethoden beschrieben.

Präparat: Die Präparate werden entweder in Form von Zylindern oder von ebenen Platten hergestellt. Als zylinderförmige Präparate sind außer dem zu einem Zylinder zusammengepreßten Pulver beschrieben: mit Kristallpulver gefüllte dünnwandige Glasröhrchen ¹⁾, Celluloidröhrchen ²⁾ oder Papierhülsen ³⁾ von ca. 1–2 mm Durchmesser, Stäbchen oder Fäden aus einer Mischung von Kristallpulver mit einem kittartigen Mittel, Metalldrähte ⁴⁾, 0,2–0,3 mm dicke Glasstäbchen, die

¹⁾ A. W. HULL, Phys. Rev. (2) 1917, Bd. 10, S. 669.

²⁾ F. HALLA und J. ADLER, Z. anorg. Chem. 1930, Bd. 185, 184–192.

³⁾ H. OTT, Hdb. d. Experimentalphysik 1928, Bd. 7 II, S. 177.

⁴⁾ A. WESTGREN and G. PHRAGMÉN, Journ. Iron and Steel Inst. 1922, Bd. 105 I, 241–262.

mittels eines Klebstoffes, am besten mit Kollodium, mit Pulver überzogen werden ¹⁾, mit Pulver beklebte Seidenfäden ²⁾ oder Drähte ³⁾, Hohlzylinder mit aufgeklebtem Pulver ⁴⁾, in einem dünnen Strahl längs der Kammerachse herabrieselndes Pulver ⁴⁾. Plattenförmige Präparate erscheinen in der Form von dünnen Platten aus zusammengepreßtem Pulver oder aus einer Mischung von Pulver und einer Kittsubstanz ⁵⁾, dünnen nichtkristallinen Blättchen ^{4, 6)} oder Glasplättchen mit anhaftendem Pulver ⁷⁾, Pulverschichten zwischen zwei Glasplatten ⁸⁾, Metallfolien ⁴⁾, polierten oder geätzten Metallplatten ⁷⁾.

Der photographische Film kann durch eine photographische Platte an jeder Stelle als Tangentialebene zum Filmzylinder ersetzt werden. HULL ⁸⁾ stellt die Platte senkrecht zum Primärstrahl; der Durchstoßpunkt des Primärstrahls $\vartheta = 0^\circ$ fällt in die Plattenmitte; andere Stellungen von photographischen Platten sind bei den Präzisionsmethoden von WESTGREN und PHRAGMÉN, SACHS und WEERTS (am Ende) und KOLKMEIJER erwähnt. Der photographische Film kann wie bei DEBYE und SCHERRER so in die Kammer gelegt werden, daß der Primärstrahl zwischen den Filmenden in den Filmzylinder eintritt und den Zylinder durch die Filmmitte verläßt, oder so, daß der Primärstrahl durch die Filmmitte eintritt ⁹⁾. Der Film wird entweder durch Führungsschienen oder durch Rillen ¹⁰⁾ im Boden und im Deckel der Kammer in seiner zylindrischen Lage festgehalten oder durch ringförmige Federn gegen die Innenwand der Kammer gedrückt ²⁾ oder um eine zylindrische Wand (mit dem Präparat als Achse) gelegt und entweder an seinen Enden festgeklemt ⁹⁾ oder durch eine flache Metallfeder ¹¹⁾ oder ein Gummiband ¹²⁾ an diese Wand angedrückt. Diese Wand kann aus einer für Röntgenstrahlen stark durchlässigen Substanz bestehen ^{11, 12)} oder sie ist in der Umgebung der Ebene, die senkrecht zur Zylinderachse liegt und den Primärstrahl enthält, durchbrochen ⁹⁾. Der photographische Film braucht auch nicht einen fast vollständigen Zylinder zu bilden; er hat einen halbkreisförmigen

¹⁾ N. H. KOLKMEIJER, Proc. K. Ak. Wetensch. Amst. 1922, Bd. 25, S. 125.

²⁾ F. KÜSTNER, Phys. Zeitschr. 1922, Bd. 23, S. 257—262.

³⁾ F. REGLER, ebenda 1931, Bd. 32, S. 680—687.

⁴⁾ H. SEEMANN, Annalen der Physik (4) 1919, Bd. 59, S. 455—464.

⁵⁾ W. P. DAVEY, Journ. Opt. Soc. Amer. 1921, Bd. 5, S. 487.

⁶⁾ A. W. HULL, Phys. Rev. (2) 1921, Bd. 17, S. 577. — R. J. HAVIGHURST, E. MACK and F. C. BLAKE, Journ. Amer. Chem. Soc. 1924, Bd. 46, S. 2368—2374.

⁷⁾ A. WESTGREN and G. PHRAGMÉN, Journ. Iron and Steel Inst. 1924, Bd. 109, S. 159—174.

⁸⁾ A. W. HULL, Phys. Rev. (2) 1917, Bd. 10, S. 669.

⁹⁾ A. E. VAN ARKEL, Physica 1926, Bd. 6, S. 64—69.

¹⁰⁾ H. OTT, Hdb. d. Experimentalphysik 1928, Bd. 7 II, S. 156 u. 181.

¹¹⁾ W. P. DAVEY, Journ. Opt. Soc. Am. 1921, Bd. 5, S. 487—488.

¹²⁾ O. PAULI, Zeitschr. f. Krist. 1921, Bd. 56, S. 595—599.

Querschnitt in den Kammern von HULL¹⁾ ($\vartheta = 0^\circ$ bis 90° nach beiden Seiten des Primärstrahls) und DEHLINGER²⁾ ($\vartheta = 90^\circ$ bis 180° ebenfalls beiderseits vom Primärstrahl) und einen viertelkreisförmigen Querschnitt bei den Kammern von DAVEY³⁾ ($\vartheta = 0^\circ$ bis 90° nur auf der einen Seite vom Durchstoßpunkt).

B. Fehler

Die Bestimmung der Gitterkonstanten nach der BRAGG'schen Gleichung $2d \sin \vartheta = n\lambda$ beruht auf der Kenntnis der Wellenlänge λ und der Glanzwinkel ϑ . Während die Größen der Wellenlängen für die wichtigsten Antikathodenmetalle mit großer Genauigkeit bestimmt sind, sind

die Bestimmungen der Glanzwinkel nach der DEBYE-SCHERRER-Methode stets mit verhältnismäßig großen Fehlern verbunden. Dies beruht vor allem darauf, daß die Glanzwinkel nicht direkt gemessen werden, sondern daß sie aus den Abständen zwischen den Schnittpunkten der gebeugten

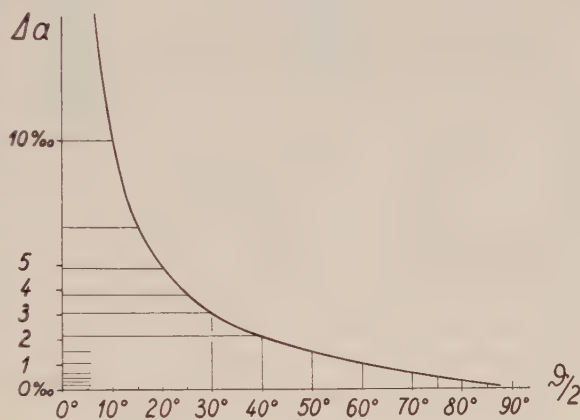


Fig. 2.

Strahlen mit einem Zylinder (photographischer Film) oder einer Ebene (photographische Schicht) berechnet werden müssen. Dazu muß der Abstand des Zylinders oder der Ebene vom Ausgangspunkt der gebeugten Strahlen, d. h. vom Präparat bestimmt werden, und dieser Bestimmung haften stets Fehler an, die bei einer Verwendung von photographischen Filmen als Aufnahmematerial durch die Längenänderung des Films noch erhöht werden. Hinzu kommen Fehler, die durch die Dicke und die Röntgenstrahlenabsorption des Präparats, durch Divergenz der Strahlung und durch Inhomogenität der Strahlung entstehen, und schließlich die Ablesungsfehler. Zur Beurteilung des Einflusses aller im folgenden zusammengestellten Fehler auf die

¹⁾ A. W. HULL, Phys. Rev. (2) 1921, Bd. 17, S. 571—572.

²⁾ U. DEHLINGER, Zeitschr. f. Krist. 1927, Bd. 65, S. 615—617.

³⁾ W. P. DAVEY, Journ. Opt. Soc. Am. 1921, Bd. 5, S. 487—488.

Gitterkonstante ist in Tabelle 1 und Fig. 2 der Einfluß eines Fehlers $\Delta \frac{\vartheta}{2} = 0,1^\circ$ auf eine Gitterkonstante als Funktion des Glanzwinkels dargestellt, der zur Berechnung der Gitterkonstanten benutzt wird. Man sieht daraus, daß der Fehler einer Gitterkonstante Δa klein wird, wenn man die Gitterkonstante aus Reflexen berechnet, die großen Glanzwinkeln, möglichst $\frac{\vartheta}{2} \sim 90^\circ$, entsprechen. Der Fehler $\Delta \frac{\vartheta}{2} = 0,1^\circ$ ist für die gebräuchlichsten Kammern von 180 mm Filmumfang gleichbedeutend mit einem Fehler von 0,1 mm auf dem Film.

Tabelle 1

$\frac{\vartheta}{2}$	Δa	$\frac{\vartheta}{2}$	Δa
5°	20 $\frac{0}{100}$	50°	1,5 $\frac{0}{100}$
10°	10 "	60°	1,0 "
15°	6,5 "	70°	0,64 "
20°	4,8 "	75°	0,47 "
25°	3,7 "	80°	0,31 "
30°	3,0 "	85°	0,16 "
40°	2,1 "		

1. Kammerfehler

Die Aufnahmen bestehen bei der Verwendung eines zylindrisch gebogenen Films aus einem System von Kurven, die die Abwickelungen der Schnittkurven des Zylinders mit einer Schar coaxialer Kegel, deren gemeinsame Achse senkrecht zur Zylinderachse steht, auf eine Ebene sind. Mißt man die Abstände $2l$ zwischen den beiden symmetrischen Ästen dieser Kurven längs einer Geraden, die die Schnittpur zwischen Filmzylinder und Aquatorebene ist, die senkrecht zur Zylinderachse durch den Primärstrahl geht, so sind diese Abstände verschiedener Beugungskurven proportional den Glanzwinkeln $\frac{\vartheta}{2}$; es ist $\frac{\vartheta}{2} = \frac{l \cdot 360^\circ}{4\pi R}$, worin R der Radius des Filmzylinders ist. Da meist doppelseitig mit Emulsion begossene Filme benutzt werden, wird für R der halbe Durchmesser desjenigen Zylinders eingesetzt, der aus der mittelsten Schicht des Films gebildet wird. Obgleich es nicht experimentell festgestellt worden ist, daß diese Mittelschicht während der Krümmung keine Längenveränderung aufweist, dürfte der Fehler, der durch diese Annahme bedingt wird, äußerst gering sein. Der Radius des Filmzylinders kann durch direkte Messung des Kammerradius und der Filmdicke oder durch Umrechnung aus einer Aufnahme an einer Substanz mit bekannten Gitterkonstanten bestimmt werden. Es ist darauf zu achten, daß der Querschnitt des Filmzylinders möglichst genau kreisförmig ist, weil eine Abweichung von der Kreisform nur sehr schwer durch eine Korrektur wett ge-

macht werden kann. Der Film muß also an eine sorgfältig gedrehte Kammerwand fest angedrückt werden, am besten mit ringförmigen Federn, die den Film von innen an die Kammerwand drücken; dabei ist auch die Gefahr gering, daß sich die Filmenden gerade ausrichten. Das Einwickeln der Filme in schwarzes Papier bewirkt immer, daß die Filme sich schlecht an die Kammerwand anlegen. Die Kammer sollte stets lichtdicht sein: gegen Licht, das gelegentlich vom Präparat ausgeht (z. B. Fluoreszenzlicht oder Glühlicht bei hohen Temperaturen), kann der Film durch einen flach aufgelegten Streifen von schwarzem Papier geschützt werden.

2. Filmschrumpfung während des Entwicklungsprozesses

Während des Entwicklungsvorganges schrumpft der Film etwas zusammen. ASLAK ERDAL¹⁾ beobachtete eine Kontraktion, die jedoch so gering war, daß sie die Meßgenauigkeit nicht beeinflusst. KOLKMEIJER und MOESVELD²⁾ fanden Schrumpfungen von 0,2—0,7 ‰, doch scheinen diese Werte innerhalb der Meßfehler zu liegen. Eine Schrumpfung von 0,61 ‰ stellte REGLER³⁾ bei doppelseitig begossenen Laue-Filmen fest, unwesentliche Schrumpfung bei Doneo-Filmen. Einige Autoren⁴⁾ haben die Filme durch photographische Platten ersetzt, um die Nachteile, die mit der Filmschrumpfung verbunden sind, zu vermeiden.

3. Einfluß der Breite und Divergenz des Primärstrahls auf die Breite der Interferenzkurven

Vollkommen scharfe Interferenzkurven würde man erhalten, wenn der Primärstrahl äußerst fein wäre und als Präparat ein äußerst feiner Faden angewandt würde. Solch eine Anordnung würde jedoch sehr lange Belichtungszeiten erfordern. Deshalb werden Präparate von einigen Zehntel Millimetern bis zu wenigen Millimetern Dicke verwendet. Der Primärstrahl hat meist eine ähnliche Breite, ist jedoch in der Richtung der Kammerachse häufig wesentlich breiter. Das hat zur Folge, daß die Beugungskurven nicht mehr scharfe Linien sind, sondern mehr oder weniger breite gekrümmte Streifen. Man kann diese Verbreiterungen ganz allgemein berechnen⁵⁾, es genügt

¹⁾ ASLAK ERDAL, Zeitschr. f. Krist. 1927, Bd. 65, S. 70.

²⁾ N. H. KOLKMEIJER u. A. L. TH. MOESVELD, ebenda 1931, Bd. 80, S. 70—71, 74—77.

³⁾ F. REGLER, Phys. Zeitschr. 1931, Bd. 32, S. 680—687.

⁴⁾ N. H. KOLKMEIJER, Transact. Far. Soc. 1929, Bd. 25, S. 392—397. — C. S. BARRETT and H. F. KAISER, Phys. Rev. (2) 1931, Bd. 37, S. 1696—1697.

⁵⁾ A. J. BIJL u. N. H. KOLKMEIJER, Proc. Ak. v. Wetensch. Amsterdam, 1918, Bd. 21, 494—500. — G. KURDJUMOW, Zeitschr. f. Phys. 1927, Bd. 43, S. 921—933. — N. H. KOLKMEIJER u. A. L. TH. MOESVELD, Zeitschr. f. Krist. 1931 Bd. 80, S. 82—90.

jedoch, die Verbreiterung der Beugungskurven längs der Spur der Äquatorebene zu betrachten, und zwar für jede Ursache der Verbreiterung besonders. Als solche Ursachen kommen in Frage: Breite und Divergenz der Röntgenstrahlen infolge der Blendenbreite und infolge der Blendenhöhe. Die Verbreiterung der Kurven läßt sich am einfachsten berechnen für ein unendlich dünnes fadenförmiges Präparat. Sind in Fig. 3 P die Spur des Präparats, b und c die Breiten der Blenden, p der Abstand der ersten Blende vom Präparat, so trifft auf

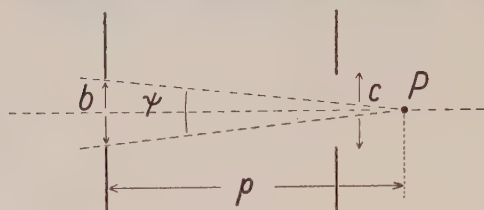


Fig. 3.

das Präparat ein konvergentes Strahlenbündel, dessen äußerste Strahlen den kleinen Winkel ψ einschließen, der durch die Beziehung

$$\operatorname{tg} \psi/2 = \frac{b}{2p}$$

gegeben ist ¹⁾.

Der Winkel zwischen den beiden äußersten gebeugten Strahlen in der Äquatorebene ist dann ebenfalls ψ und die Verbreiterung der Kurve am Äquator beträgt:

$$\frac{\psi \cdot 2\pi R}{360^\circ}.$$

Die Verbreiterung der Beugungskurven infolge der Blendenbreite hängt also nur von der Breite der ersten Blende und von ihrer Entfernung vom Präparat ab ²⁾ und ist ganz unabhängig von der zweiten Blende.

Bei der Abhängigkeit der Kurvenverbreiterung von der Blendenhöhe müssen dagegen beide Blenden berücksichtigt werden. Zum besseren Verständnis dieser Kurvenverbreiterung sei hier der Fall behandelt, daß ein unendlich feiner Röntgenstrahl nicht senkrecht auf die Zylinderachse trifft, sondern den Winkel ν mit der Äquatorebene bildet. In Fig. 4 sei Z die Zylinderachse, X' die Richtung des Primärstrahls, X seine orthogonale Projektion auf die Äquatorebene. Dann lautet die Gleichung des Kegels mit dem Öffnungswinkel 2ϑ und dem Primärstrahl als Achse:

$$x^2 (\sin^2 \nu - \cos^2 \nu \cdot \operatorname{tg}^2 \vartheta) + z^2 (\cos^2 \nu - \sin^2 \nu \cdot \operatorname{tg}^2 \vartheta) - 2xz \frac{\sin \nu \cdot \cos \nu}{\cos^2 \vartheta} + y^2 = 0$$

und die Gleichung der Schnittgeraden dieses Kegels mit einer Ebene $z=c$ nach Einführung von Zylinderkoordinaten $x = r \cos \varphi$ und $y = r \sin \varphi$:

$$(1) \quad \cos \varphi = \frac{\cos \vartheta}{\cos \nu} \sqrt{1 + \left(\frac{c}{r}\right)^2} - \frac{c}{r} \operatorname{tg} \nu.$$

¹⁾ O. PAULI, Zeitschr. f. Krist. 1921, Bd. 56, S. 602–609.

²⁾ G. KURDJUMOW, Zeitschr. f. Phys. 1927, Bd. 43, S. 922–923

durch Anwendung einer schmalen, hohen ersten (der Antikathode zugewandten) Blende und einer niedrigen zweiten, kurz vor dem Präparat stehenden Blende erzielt¹⁾. Die Grenze der wirksamen Höhe des ersten Spalts ist jedoch durch die Größe des Brennflecks auf der Antikathode gegeben.

Ein Fehler kann ferner dadurch entstehen, daß das ganze Strahlenbündel schräg auf der Zylinderachse steht, der mittelste Strahl mit der Äquatorebene den Winkel ν , die äußersten Strahlen die Winkel ν' und ν'' bilden. Liest man die Beugungskurven längs der Äquatorspur ab, so gilt die Gleichung (1). Die Beugungskurven liegen in diesem Fall nicht symmetrisch zur Äquatorspur, sondern ihre Mittelpunkte liegen auf der Spur einer zur Äquatorebene um die Achse $\vartheta = 90^\circ$ geneigten Ebene. Schließen die Schnittgeraden eines Beugungskegels und der geneigten Ebene den Winkel 2φ ein, so ist $\operatorname{tg} \vartheta = \operatorname{tg} \varphi \cos \nu$. Die Differenzen $\varphi - \vartheta$ sind für kleine ν äußerst gering, sie betragen im Höchstfall (für $\vartheta = 45^\circ$)

für $\nu =$	$0,5^\circ$	1°	2°	3°	4°	5°
$\varphi - \vartheta =$	$0,002^\circ$	$0,005^\circ$	$0,017^\circ$	$0,04^\circ$	$0,07^\circ$	$0,11^\circ$

Liest man daher den Abstand der symmetrischen Kurven längs der Spur der geneigten Ebene ab, so wird der Fehler für Neigungen der Blendenrichtung, die man nicht direkt bemerkt, verschwindend klein.

4. Einfluß der Präparatdicke auf die Verschiebung der Beugungskurven

Man hat bei Berücksichtigung der Präparatdicke zwischen Präparaten zu unterscheiden, die für Röntgenstrahlen gut durchlässig sind, und solchen, die die Röntgenstrahlen stark absorbieren. Benutzt man Präparate, die so klein sind, daß sie von den Strahlen umspült werden, so bedingt ein gut durchlässiges Präparat eine Verbreiterung der Beugungskurve um die Dicke des Präparats, wozu noch die Verbreiterung durch die Konvergenz der Strahlen hinzutritt.

Ist jedoch das Präparat für Röntgenstrahlen vollkommen undurchlässig, so werden die Strahlen (Fig. 6) nur an der Oberfläche zwischen E und F gebeugt. Der Randstrahl FG würde einen Beugungswinkel

$$\vartheta_1 = \vartheta - \eta + \arcsin \frac{r}{R} \cos(\vartheta + \eta),$$

der Randstrahl EH den Beugungswinkel

$$\vartheta_2 = \vartheta + \xi + \arcsin \frac{r}{R} \cos \xi$$

¹⁾ G. KURDJUMOW, Zeitschr. f. Phys. 1927, Bd. 43, S. 932.

vortäuschen. Die Mitte des gebeugten Strahlenbündels ist gegenüber dem idealen gebeugten Strahl CD um den Winkel

$$\vartheta - \frac{\vartheta_2 + \vartheta_1}{2} = -\frac{1}{2} \left\{ \xi - \eta + \arcsin \frac{r}{R} \cos \xi + \arcsin \frac{r}{R} \cos(\vartheta + \eta) \right\}$$

verschoben, wobei man wegen $r \ll R$ die \arcsin durch die \sin ersetzen und bei genügend kleinen Blendenbreiten auch ξ und η in den \cos -Ausdrücken vernachlässigen kann, so daß sich die Verschiebungsgröße vereinfacht schreiben läßt

$$(1) \quad -\frac{1}{2} \{ R (\xi - \eta) + r(1 + \cos \vartheta) \};$$

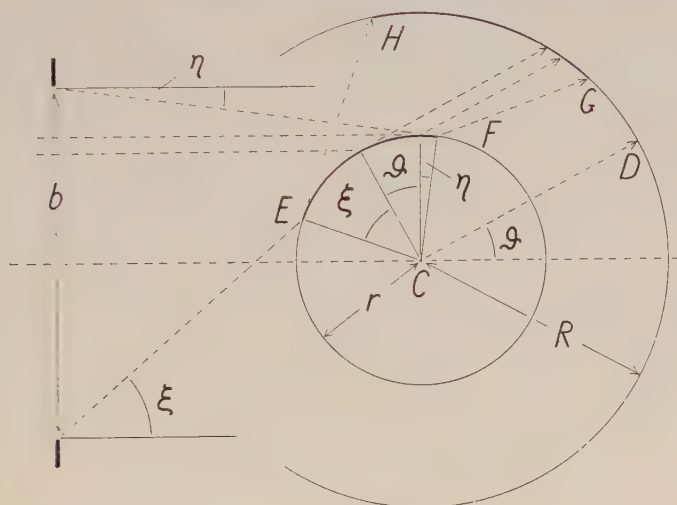


Fig. 6.

dabei lassen sich für ξ und η ebenfalls Näherungsformeln angeben, nämlich

$$\sin \xi = \frac{b + 2r \cos \vartheta}{2p} \quad \text{und}$$

$$\sin \eta = \frac{b - 2r}{2p}.$$

Ersetzt man auch hierin die \sin der kleinen Winkel ξ und η durch die Bogen, so geht (1) über in

$$(2) \quad -\frac{r}{2} (1 + \cos \vartheta) \left(1 + \frac{R}{p} \right).$$

Nimmt man an, daß das einfallende Licht parallel ist, d. h. $\xi = 0$ und $\eta = 0$, so geht aus (1) die von mehreren Autoren¹⁾ vorgeschlagene Formel

¹⁾ A. HADDING, Centralbl. f. Min. 1921, S. 631—636. — O. PAULI, Zeitschr. f. Krist. 1921, Bd. 56, S. 602—609. — W. GERLACH, Zeitschr. f. Phys. 1922, Bd. 9, S. 184—192.

$$-\frac{r}{2}(1 + \cos \vartheta)$$

hervor (HADDING'sche Korrektion).

Meist liegen jedoch nicht die beiden Grenzfälle der Durchlässigkeit des Präparats vor, sondern im allgemeinen absorbiert das Präparat einen beträchtlichen Teil der Strahlung. Die Intensitätsverteilung innerhalb einer Beugungskurve in Richtung ihrer Breite wird daher vom Absorptionskoeffizienten μ des Kristallpulvers, von der Länge des Weges im Präparat und damit auch vom Glanzwinkel abhängig sein. Diese Intensitätsverteilung ist für parallele Primärstrahlen mehrfach berechnet worden^{1 5)}. Die Berechnungen führen zu Integralen, die nur graphisch gelöst werden können. Von diesen Integralen sei das von RUSTERHOLZ als das am meisten übersichtliche hier angeführt.

Denkt man sich den gesamten gebeugten Strahl von der Breite $2r$ zerlegt in unendlich viele Partialstrahlen von der Breite dr , so ist die Intensität eines solchen Partialstrahls von der Beugung an allen Punkten abhängig, die auf der Verlängerung des Partialstrahls im Präparat liegen. Legt man in die Äquatorebene ein rechtwinkliges Koordinatensystem so, daß dessen Ursprung auf die Zylinderachse fällt und die y -Achse mit der Richtung des Primärstrahls zusammenfällt und wählt man den Zylinderradius als Einheit, so sind die Koordinaten eines beugenden Punktes, der auf einem um die Strecke $a \leq 1$ vom Koordinatenursprung entfernten Partialstrahl liegt,

$$\begin{aligned} x &= a \cos \vartheta + \sqrt{1 - a^2} \sin \vartheta - s \sin \vartheta \\ y &= \sqrt{1 - (a \cos \vartheta + \sqrt{1 - a^2} \sin \vartheta)^2} - s \cos \vartheta, \end{aligned}$$

worin s der Abstand des Punktes x, y vom Austrittspunkt des gebeugten Partialstrahls aus dem Präparat ist. Ein am Punkt x, y gebeugter Strahl durchläuft im Präparat vor der Beugung als Primärstrahl die Strecke $y + \sqrt{1 - x^2}$, nach der Beugung die Strecke s ; die Intensität an der Stelle der Interferenzkurve, die dem betrachteten Partialstrahl entspricht, ist daher, abgesehen von einem konstanten Faktor

$$J(a, \vartheta) = \int e^{-\mu r(y + \sqrt{1 - x^2} + s)} ds,$$

integriert über die ganze Länge des gebeugten Partialstrahls zwischen den beiden Schnittpunkten mit der Oberfläche des Präparats. Die

¹⁾ L. W. McKEEHAN, Journ. Frankl. Inst. 1922, Bd. 193, S. 231—242.

²⁾ G. GREENWOOD, Phil. Mag. (7) 1927, Bd. 3, S. 963—972.

³⁾ H. MÖLLER und A. REIS, Z. phys. Chem. A, 1928, Bd. 139, S. 425—438.

⁴⁾ A. CLAASSEN, Phil. Mag. (7) 1930, Bd. 9, S. 57—65.

⁵⁾ A. RUSTERHOLZ, Helv. Physica Acta 1931, Bd. 4, S. 68—121.

Intensitätsverteilung wird mit genügender Näherung numerisch bestimmt, indem man die Integration durch eine Summierung ersetzt:

$$J(a, \vartheta) = \sum_i e^{-\mu r(y_i + \sqrt{1-x_i^2} + s_i)} \Delta s$$

und Δs hinreichend klein wählt.

Das Intensitätsmaximum innerhalb der Beugungskurven verschiebt sich im Vergleich zum Fall der vollkommen undurchlässigen Präparate nach kleineren ϑ hin.

Ist J die Intensität des Primärstrahls und d_e die Dicke einer Präparatschicht, die den Strahl so stark schwächt, daß er nach dem Hindurchgehen nur noch die Intensität $\frac{J}{e}$ hat, so besteht zwischen

dem Radius r des Präparats und der Größe d_e nach MÖLLER und REIS¹⁾ folgende Beziehung: Für $r \geq 100 d_e$ reflektiert nur die Oberfläche. Bei geringerer Absorption verbreitert sich die Interferenzkurve und verschiebt sich das Intensitätsmaximum nach kleineren ϑ hin: für kleinere Glanzwinkel entsteht ein schwächeres Intensitätsmaximum an dem inneren, dem Durchstoßpunkt zugewandten Rand der Kurve (Aufspaltung der Beugungskurven für kleine ϑ). Für $r \sim d_e$ wird auch das Gebiet zwischen beiden Rändern geschwärzt; das Intensitätsmaximum ist gegenüber der theoretischen Kurvenmitte jedoch noch deutlich nach größeren ϑ hin verschoben. Und erst bei $r \leq \frac{1}{2} d_e$ kann diese Verschiebung vernachlässigt werden. Mc KEEHAN²⁾ zeigte, daß eine dünne Hülle um das Pulverpräparat (z. B. Glasröhrchen, Papierhülle) auf die Verschiebung des Intensitätsmaximums keinen wesentlichen Einfluß ausübt.

Viel einfacher ist die Intensitätsverteilung bei Präparaten, die die Form dünner Pulverplatten haben. Die Intensität einer Beugungskurve ist im mittleren Teil dieser Kurve konstant; rechts und links von dieser Mitte besteht die Kurve aus zwei gleich breiten, nach außen hin verblassenden Teilen. Der dem Beugungswinkel $\vartheta = 90^\circ$ zugewandte Teil wird stärker geschwächt als der andere. Für den Fall, daß die Plättchen senkrecht zum Primärstrahl stehen, ist die Breite des mittleren Teils

$$b \cos \vartheta - d \sin \vartheta,$$

wenn b die Breite des parallelen Primärstrahls und d die Dicke der Pulverschicht ist; die Breite der äußeren Kurventeile ist $d \sin \vartheta$; als gesamte Kurvenbreite folgt daraus

$$b \cos \vartheta + d \sin \vartheta.$$

Der Vorteil der plattenförmigen Präparate ist die geringe

¹⁾ H. MÖLLER und A. REIS, l. c. 433—438.

²⁾ L. W. Mc KEEHAN, l. c., S. 237.

Schwächung der unter kleinen Glanzwinkeln gebeugten Kurven¹⁾ und die äußerst geringe Verschiebung des Intensitätsmaximums gegenüber der idealen Beugungskurve. Die Nachteile bestehen darin, daß die unter $\vartheta \sim 90^\circ$ gebeugten Strahlen einen sehr langen Weg durch das Pulver zu durchlaufen haben und daher sehr stark absorbiert werden, und daß die Intensitäten der Reflexe für $\vartheta < 90^\circ$ nicht ohne weiteres mit denen für $\vartheta > 90^\circ$ zu vergleichen sind. Der erste Nachteil läßt sich dadurch verringern, daß man die Breite des Plättchens (senkrecht zur Kammerachse und zum Primärstrahl) nicht wesentlich größer als die Breite des Primärstrahls wählt; der zweite durch passende Wahl der Plättchendicke²⁾.

5. Exzentrizität des Präparats

Befindet sich das Präparat nicht genau in der Achse des Filmzylinders, sondern z. B. im Punkt q , φ in Fig. 7 und ist die Blende auf das Präparat eingestellt, so macht man bei der Ablesung des Beugungswinkels einen Fehler

$$\Delta \vartheta = \frac{1}{2} \left[\arcsin \frac{q}{R} \sin (\vartheta + \varphi) + \arcsin \frac{q}{R} \sin (\vartheta - \varphi) \right]$$

oder wegen $q \ll R$

$$\Delta \vartheta = \frac{q}{R} \sin \vartheta \cdot \cos \varphi.$$

Für $\varphi = 0$ oder $\varphi = \pi$ wird

$$\Delta \vartheta = \pm \frac{q}{R} \sin \vartheta$$

für $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ist

$$\Delta \vartheta = 0,$$

d. h. nur die Verschiebung des Präparats parallel dem Primärstrahl bewirkt einen Fehler in der Bestimmung

des Beugungswinkels³⁾; die Verschiebung des Präparats senkrecht zum Primärstrahl verursacht keinen Fehler⁴⁾, wenn man den Glanzwinkel aus dem Abstand $2l$ zwischen den beiden Ästen einer Beugungskurve bestimmt.

6. Inhomogenität der Röntgenstrahlen

Enthält die Röntgenstrahlung Wellen von verschiedener Länge, so können zwei Interferenzkurven, die durch Strahlen von verschiedener

¹⁾ L. W. McKEEHAN, I. c., S. 240.

²⁾ H. MÖLLER und A. REIS, I. c., S. 427—431.

³⁾ A. HADDING, Centralbl. f. Min. 1921, S. 635.

⁴⁾ CL. V. SIMSON, Z. phys. Chem. 1924, Bd. 109, 183—198.

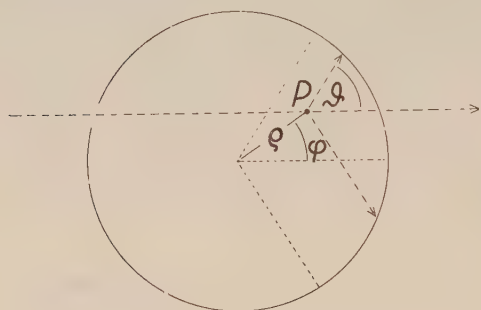


Fig. 7.

Wellenlänge erzeugt werden, sich teilweise überlagern. Dann erscheinen die beiden Kurven als eine verbreiterte Kurve, wodurch die Bestimmung des zugehörigen Glanzwinkels ungenauer wird. In der meist verwendeten K-Strahlung sind eine α_2 -, α_1 - und β -Komponente enthalten. Die β -Strahlung kann durch Filter fast ganz beseitigt werden (S. 165). Die α_1 - und α_2 -Strahlungen sind dagegen durch Filter nicht zu trennen. Die Differenzen der Glanzwinkel, die der α_1 - und der α_2 -Komponente entsprechen, sind meist sehr klein und nehmen erst für große ϑ schnell zu. In der Tabelle 2 sind die Differenzen $\frac{1}{2}(\vartheta_{\alpha_2} - \vartheta_{\alpha_1})$ als Funktionen von $\frac{1}{2}\vartheta_{\alpha_1}$ für die häufigsten Antikathodenmetalle eingetragen.

Tabelle 2

$\frac{1}{2}\vartheta_{\alpha_1}$	$\frac{1}{2}(\vartheta_{\alpha_2} - \vartheta_{\alpha_1})$				
	Cr	Fe	Ni ¹⁾	Cu	Mo
10°	0,02°	0,02°	0,02°	0,03°	0,06°
20	04	05	05	05	13
30	06	07	08	08	20
40	09	11	12	12	29
50	13	15	16	17	42
60	18	22	24	25	61
70	29	35	38	40	98
75	40	47	52	54	1,35
80	61	73	80	84	2,21
82	78	93	1,03	1,08	3,03
83,72					6,28
84	1,08	1,32	1,47	1,55	
85	1,38	1,70	1,92	2,04	
85,97				4,03	
86,05			3,95		
86,23		3,77			
86,55	3,45				
λ_{α_1}	2,28484	1,93230	1,65461	1,53730	0,70759 Å
λ_{α_2}	2,28895	1,93651	1,65854	1,54116	0,71187 Å

Sobald der Bogen $\frac{1}{2}(\vartheta_{\alpha_2} - \vartheta_{\alpha_1})$ die Kurvenbreite übersteigt, lösen sich die Kurven in eine α_1 - und in eine α_2 -Kurve auf. Bis zu dem zugehörigen Glanzwinkel sind die Kurven verbreitert. Es liegt nahe, für die Bestimmung der Glanzwinkel die Kurvenmitten abzulesen und für die Berechnung der Gitterkonstanten eine mittlere Wellenlänge $\frac{1}{2}(\lambda_{\alpha_1} + \lambda_{\alpha_2})$ einzusetzen. Den Fehler beseitigt man jedoch dadurch nicht vollständig, weil die α_2 -Reflexe nur halb so intensiv wie die α_1 -Reflexe sind.

¹⁾ Für Co: $\lambda_{\alpha_1} = 1,78528$ Å, $\lambda_{\alpha_2} = 1,78956$ Å gelten die gleichen Differenzen.

In den Tabellen 2 und 4 und auf S. 197 sind die Wellenlängen nach SIEGBAHN¹⁾ benutzt worden. Als neuere Bestimmungen werden angegeben²⁾:

	λ_{α_1}	λ_{α_2}	λ_{β}
Cr	2,285 033	2,288 907	2,080 586
Fe	1,932 076	1,935 987	1,753 013
Co	1,785 287	1,789 187	1,617 436
Ni	1,654 503	1,658 353	1,497 045
Cu	1,537 262	1,541 02	1,389 33
Mo	0,707 831	0,712 105	0,630 978

Bei Verwendung von Steinsalz als Eichsubstanz ist jedoch eine genaue Kenntnis der Wellenlängen nicht nötig.

Der Einfluß der Brechung von Röntgenstrahlen auf die Größe der berechneten Gitterkonstanten liegt noch außerhalb der Fehlergrenzen unserer Präzisionsmethoden; besonders bei der Bestimmung der Gitterkonstanten aus großen Glanzwinkeln ist die Brechung ganz bedeutungslos.

7. Ablesungsfehler

Bei Verwendung eines guten Maßstabs, am besten eines in halbe Millimeter eingeteilten Glasmaßstabs, lassen sich die Beugungskurven auf 0,1—0,05 mm genau ablesen. Eine größere Genauigkeit wird nur dann anzustreben sein, wenn eine Gitterkonstante aus ganz wenigen Reflexen bestimmt werden soll: in diesem Fall kann der Fehler durch eine größere Anzahl von Ablesungen und Mittelbildung bis auf etwa 0,01 mm herabgedrückt werden.

C. Korrekturen. Bestimmung der Gitterkonstanten

1. Korrekturen

Die im Abschnitt B aufgezählten Fehler müssen zur Bestimmung der wahren Glanzwinkel durch Korrekturen ausgeglichen werden. Die Werte der Fehler sind in jenem Abschnitt angegeben als Abweichungen der reellen Beugungskurven von den idealen unendlich dünnen Beugungskurven. Dabei wurde im vorhergehenden als Lage der reellen Beugungskurve die Lage der Mitte zwischen ihrem äußeren und ihrem inneren Rand angesehen oder, bei Berücksichtigung der Absorption, die Lage des Intensitätsmaximums. Nach LANGE (S. S. 203) wäre es zweckentsprechend, stets die Abweichung des stärksten Schwärzungsgradienten von der Lage der idealen Beugungskurve zu berechnen und diesen Wert als Korrektur einzuführen.

¹⁾ M. SIEGBAHN, Spektroskopie der Röntgenstrahlen, 1924.

²⁾ LANDOLT-BÖRNSTEIN, Physikalisch-chemische Tabellen, 2. Ergänzungsband, Teil II, 1931, S. 514—515.

Häufig wird nach dem Vorgang von HADDING¹⁾ der äußere, dem Beugungswinkel $\vartheta = 180^\circ$ zugewandte Rand abgelesen: dann ist die Korrektion auf die Stäbchendicke für alle ϑ gleich $-r$. Auch die Kombination dieser Korrektion mit den Divergenzkorrekturen läßt sich bei dieser Ablesungsart durchführen. Diese Methode hat jedoch den Nachteil, daß die Lage der Kurvenränder in hohem Grade von der Intensität der Kurven abhängig ist.

Denselben Nachteil besitzt die von OTT²⁾ vorgeschlagene Ablesung der inneren Kurvenränder: für den Fall, daß die Breite des Primärstrahls ungefähr gleich der Stäbchendicke ist, beträgt die Korrektion auf Stäbchendicke und Strahlendivergenz nach OTT: $-r \cos \vartheta$.

Die Korrekturen sind, besonders bei Berücksichtigung der Stäbchenabsorption, recht mühsam und beseitigen häufig die Fehler nicht restlos. Sie können zum großen Teil vermieden werden, entweder durch Aufnahmen von einer Vergleichssubstanz oder durch Verwendung der Reflexe unter großen Glanzwinkeln zur Gitterkonstantenbestimmung.

Die Kammerfehler können dadurch ermittelt werden, daß man Aufnahmen von einer Substanz mit bekannten Glanzwinkeln anfertigt und mit Hilfe der Abweichungen zwischen berechneten und beobachteten Glanzwinkeln die Kammer eicht³⁾. Als Eichsubstanz wird hauptsächlich Steinsalz benutzt. Die Gitterkonstante des natürlichen Steinsalzes aus mitteldeutschen Salzlagern ist zu $a_w = 5,62800 \text{ \AA}$ festgesetzt. Die Gitterkonstante von reinem Natriumchlorid beträgt nach BARTH und LUNDE⁴⁾ $5,6264 \pm 0,001 \text{ \AA}$.

Man kann alle Fehler mit Ausnahme der Ablesungsfehler eliminieren, wenn man jede einzelne Aufnahme eicht, d. h. auf denselben photographischen Film eine Aufnahme von der Untersuchungssubstanz und eine Aufnahme von Steinsalz macht. Die beiden Substanzen können nach DAVEY (s. S. 192) zwei längs der Äquatorspur getrennte Aufnahmen oder nach WYCKOFF, miteinander gemischt, zwei sich überlagernde Aufnahmen liefern. Die Methode von WYCKOFF hat gegenüber der von DAVEY den Vorteil, daß die Absorption für beide Substanzen die gleiche ist, was bei der Methode von DAVEY nur durch Verdünnung der weniger durchlässigen Substanz mit einem wenig absorbierenden amorphen Pulver, wie z. B. Mehl, annähernd erreicht werden kann. Der Nachteil der WYCKOFF'schen Methode, die Überlagerung von Beugungskurven der beiden Substanzen, wird

¹⁾ A. HADDING, Centralbl. f. Min. 1921, S. 636.

²⁾ H. OTT, Phys. Zeitschr. 1923, Bd. 24, S. 209—212.

³⁾ R. W. G. WYCKOFF, Am. Journ. Sc. 1921, Bd. 2, S. 244; Journ. Wash. Ac. Sc. 1921, Bd. 11, S. 431.

⁴⁾ T. BARTH und G. LUNDE, Zeitschr. phys. Chem. 1927, Bd. 126, S. 422.

durch den Umstand, daß bei der DAVEY'schen Methode die Beugungskurven gerade an der Äquatorspur abgebrochen sind, bei weitem überwogen. Man kann die Steinsalz-Beugungskurven zur Gitterkonstantenbestimmung derart ausnutzen, daß man die Abweichung des Intensitätsmaximums vom theoretischen Glanzwinkelwert als Funktion des Glanzwinkels aufzeichnet und mit Hilfe der gewonnenen Kurve die wahren Glanzwinkel der Untersuchungssubstanz bestimmt (s. S. 194). Man kann jedoch auch mit Hilfe der Steinsalzreflexe den Kammerradius bestimmen, den Abstand zwischen einer Beugungskurve der Untersuchungssubstanz und einer benachbarten Steinsalzkurve $l - l_{\text{NaCl}}$ zu einem Winkel zwischen den entsprechenden gebeugten Strahlen umrechnen und diesen Winkel zum berechneten Glanzwinkel des Steinsalzes hinzuaddieren¹⁾; dabei werden allerdings die von ϑ abhängigen Fehler nicht ganz ausgeschaltet.

Eine andere Methode, genaue Gitterkonstanten zu erhalten, beruht auf der Überlegung, daß alle Präparat- und Divergenzfehler für $\vartheta = 180^\circ$ verschwinden. Trägt man die ϑ als Abszissen und die entsprechenden Gitterkonstanten als Ordinaten ein und verbindet man alle Punkte durch eine Kurve, so ergibt der Kurvenpunkt für $\vartheta = 180^\circ$ die wahre Gitterkonstante (Extrapolation auf den Glanzwinkel $\vartheta = 90^\circ$)²⁾. Will man auch die Abstandsfehler (Fehler bei der Bestimmung des Kammerradius, der Filmdicke, der Filmschrumpfung und des unvollkommenen Anliegens des Films an die Kammerwand) durch Extrapolation ausschließen, so muß die Filmmitte sich bei $\vartheta = 180^\circ$ befinden.

Die Extrapolationsmethode läßt sich nur dann mit Erfolg anwenden, wenn genügend Reflexe vorhanden sind, die von einer einzigen Gitterkonstante abhängen, also bei Bestimmungen der Gitterkonstanten a_w im kubischen System oder der Gitterkonstanten a im tetragonalen und hexagonalen System.

Von einigen Autoren^{3) 6)} werden die abgelesenen Glanzwinkel skorrigiert, daß die aus verschiedenen Glanzwinkeln berechneten Gitter-

konstanten oder $\sin^2 \frac{\vartheta}{2}$ - $h^2 + k^2 + l^2$ -Werte oder Kammerradius-Werte keinen

¹⁾ T. BARTH u. G. LUNDE, Zeitschr. phys. Chem. 1925, Bd. 117, S. 483. — P. WIEST, Zeitschr. f. Phys. 1932, Bd. 74, S. 231.

²⁾ A. E. VAN ARKEL, Zeitschr. f. Krist. 1928, Bd. 67, S. 235—238. — G. KETTMANN, Zeitschr. f. Phys. 1929, Bd. 53, S. 198—209. — G. SACHS und J. WEERTS, Zeitschr. f. Phys. 1930, Bd. 60, S. 481—490.

³⁾ V. M. GOLDSCHMIDT und L. THOMASSEN, Vidensk. Skr. I, 1923, Nr. 2, S. 6—7.

⁴⁾ F. C. BLAKE, Phys. Rev. (2), 1925, Bd. 26, S. 60—70.

⁵⁾ T. BARTH und G. LUNDE, Zeitschr. phys. Chem. 1925, Bd. 117, S. 482—483.

⁶⁾ H. OTT, Zeitschr. f. Krist. 1926, Bd. 63, S. 228—230.

systematischen, von ϑ abhängigen Gang aufweisen. Diese Korrekturen beruhen meist darauf, daß man die Absorption des Präparats berücksichtigt, indem man an Stelle des wirklichen Stäbchenradius r den „effektiven“ Radius $\varepsilon r < r$ setzt ¹⁾. Diese Verfahren laufen im Prinzip auf die „Extrapolation auf $\vartheta = 180^\circ$ “ hinaus.

2. Gitterkonstantenbestimmung.

Sind die im vorigen Absatz genannten Konstanten durch eine Steinsalz-Eichung oder durch Extrapolation „gangfrei“ gemacht, so kann man ihren Mittelwert bilden.

Bei der einfachen Mittelwertbildung $A_m = \frac{\sum A_n}{n}$, worin A_n die einzelnen Konstanten, n ihre Anzahl ist, setzen die ungenauen Werte, die kleinen ϑ entsprechen, die Genauigkeit des Mittelwerts herab. Deshalb werden diese Werte bei der Mittelbildung häufig fortgelassen. Richtiger ist es, jede Größe entsprechend ihrer Genauigkeit zu bewerten. GOLDSCHMIDT und THOMASSEN ²⁾ legen den $\sin \frac{\vartheta}{2}$ ein Gewicht proportional $\sin \frac{\vartheta}{2}$ zu. Durch Differentiation der BRAGG'schen Gleichung nach $\sin \frac{\vartheta}{2}$ ergibt sich, daß der Fehler einer aus dem Glanzwinkel $\frac{\vartheta}{2}$ berechneten Gitterkonstante

$$-\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta \frac{\vartheta}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}},$$

die Genauigkeit somit proportional $\operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}$ ist ³⁾. Die mittlere Gitterkonstante a_m ergibt sich danach aus den einzelnen Gitterkonstantenwerten a_n zu

$$a_m = \frac{\sum_n \left(a_n \cdot \operatorname{tg} \frac{\vartheta_n}{2} \right)}{\sum_n \operatorname{tg} \frac{\vartheta_n}{2}}$$

Bei kubischen Kristallen kann man auch zuerst das Mittel der Größen

$$Q_n = \frac{\sin^2 \frac{\vartheta_n}{2}}{h^2 + k^2 + l^2} \text{ bilden:}$$

¹⁾ H. OTT, Zeitschr. f. Krist. 1926, Bd. 63, S. 228—230.

²⁾ V. M. GOLDSCHMIDT und L. THOMASSEN, Vidensk. Skr. I, 1923, Nr. 2, S. 8.

³⁾ T. BARTH und G. LUNDE, Z. phys. Chem. 1925, Bd. 117, S. 484—490.

$$Q_m = \frac{\sum_n \left(Q_n \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta_n}{2} \right)}{\sum_n \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta_n}{2}}$$

Noch weiter geht BROCH¹⁾, indem er die Gitterkonstanten proportional $\operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}$ bewertet.

3. Fehlergrenzen

Jeder nach einer Präzisionsmethode bestimmten Gitterkonstante sollte die Angabe ihrer Fehlergrenze folgen. Wird die Gitterkonstante als Mittelwert a_m aus einer größeren Anzahl n von Einzelwerten a_n berechnet, so kann man unter der Annahme, daß allen Einzelwerten dasselbe Gewicht zukommt, nach GAUSS den mittleren Fehler des Mittelwerts mit

$$\Delta a = \pm \sqrt{\frac{\sum_n (a_m - a_n)^2}{n(n-1)}}$$

angeben. Legt man jedem Einzelwert und somit jeder Differenz $(a_m - a_n)$ das Gewicht $\operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta}{2}$ zu, so wird der mittlere Fehler¹⁾:

$$\Delta a = \pm \sqrt{\frac{\sum_n \left[(a_m - a_n) \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta_n}{2} \right]^2}{(n-1) \sum_n \operatorname{tg}^2 \frac{\vartheta_n}{2}}}$$

Durch diese Fehlerbestimmung sind jedoch nicht alle Fehler erfaßt, sondern nur die unregelmäßigen Schwankungen infolge von Ablesungsfehlern, verschiedener Intensität der Kurven, ungleichmäßiger Schrumpfung des Films. Die systematischen Fehler müssen stets noch besonders berücksichtigt werden, und zwar die Abstandsfehler und die Wellenlängenfehler. Die Wellenlängenfehler treten besonders bei mittleren Glanzwinkeln auf, bei den Reflexen, die noch nicht in eine α_1 - und eine α_2 -Komponente aufgespalten sind, aber schon eine meßbare Verbreiterung aufweisen²⁾. Die Abstandsfehler können zwar durch ein Vergleichsdiagramm von Steinsalzkurven ausgeschaltet werden; zum mittleren Fehler der bestimmten Gitterkonstante kommt jedoch dann noch ein etwa gleich großer mittlerer Fehler des Steinsalzdiagramms. Wenn an Stelle von Steinsalz eine andere Eichsubstanz verwandt wird, deren Gitterkonstante mit einem eigenen Fehler behaftet ist, so ist auch dieser Fehler zur Fehlergrenze der bestimmten

¹⁾ E. BROCH, Z. phys. Chem. 1927, Bd. 127, S. 452—454.

²⁾ G. KETTMANN, Z. f. Phys. 1929, Bd. 53, S. 206.

Gitterkonstante zu addieren. Bei der „Extrapolation auf $\vartheta = 180^\circ$ (= Filmmitte)“ gehen die Abstandsfehler nicht in die Fehlergrenze ein.

Es empfiehlt sich, die Fehler der Größen Q_m , $\sqrt{Q_m}$ und a_m in Prozent oder Promille auszudrücken. Da die Fehler stets kleine Größen im Verhältnis zu den Gitterkonstanten sind, können dann die einzelnen Fehler einfach addiert werden. Bei kubischen Kristallen wird häufig der Mittelwert Q_m gebildet; dann beträgt der mittlere Fehler der Gitterkonstante die Hälfte des mittleren Fehlers von Q_m .

D. Präzisionsmethoden

a) Technische Verbesserungen der Kammern

1. Präzisionsmethode von HULL, 1921

Bereits in seinen ersten Arbeiten ¹⁾ verwandte HULL wesentlich größere Abstände zwischen Präparat und photographischer Schicht als DEBYE und SCHERRER und erzielte damit auch eine größere Genauigkeit der Gitterkonstanten. In einer 1921 erschienenen Arbeit ²⁾ beträgt der wahrscheinliche Fehler der Gitterkonstanten bei verschiedenen Aufnahmen 0,25 bis 1 ‰. Damit muß diese Untersuchungsanordnung von HULL schon zu den Präzisionsmethoden gerechnet werden, wenn auch der Fehler durch Berücksichtigung der Filmschrumpfung, der Ungenauigkeit bei der Bestimmung des Kammerradius usw. sich etwas vergrößert.

Anordnung (Fig. 8): Das Röntgenstrahlenbündel wird durch zwei Spaltblenden von 2 mm Breite und 10 mm Höhe ausgesondert, die 9 cm bzw. 13 cm von der Antikathode entfernt sind. Unmittelbar vor dem Präparat, dessen Entfernung von der zweiten Blende 2 cm beträgt, befindet sich eine dritte Blende, 6 mm breit und 20 mm hoch, die nur dazu dient, die an der zweiten Blende gebeugten Strahlen abzufangen. Das Präparat befindet sich in der

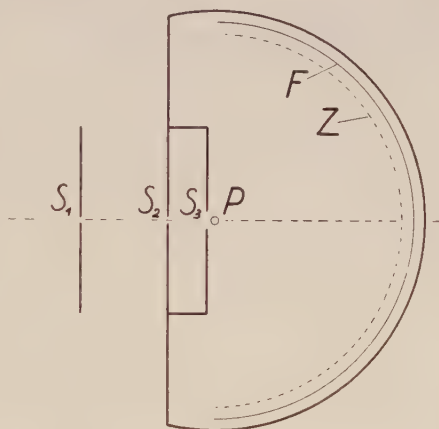


Fig. 8.

S_1, S_2, S_3 Spaltblenden, Z Filter zur Absorption der Strahlen.

¹⁾ A. W. HULL, Phys. Rev. (2) 1917, Bd. 10, S. 661—696.

²⁾ A. W. HULL, ebenda (2) 1921, Bd. 17, S. 571—588.

Achse eines Halbzylinders aus Messing, dessen Radius 20 cm beträgt und an dessen Innenwand der photographische Film angedrückt wird.

Präparat: dünnwandige Glasröhrchen von 0,5 bis 2,0 mm Durchmesser, die mit dem Untersuchungspulver gefüllt sind.

Belichtungszeit: 15 Stunden für Molybdänstrahlung bei 30 KV und 30 mA trotz Verwendung einer Verstärkerfolie. Die lange Belichtungszeit ist allerdings z. T. auch darauf zurückzuführen, daß an zwei Stellen, und zwar vor der ersten Blende und direkt vor dem Film, Cellulosefilter mit $0,025 \text{ g ZrO}_2 \text{ cm}^2$ oder 0,025 mm dicke Eisenfolien zur Absorption der weicheren Bremsstrahlung und der am Präparat erzeugten Streustrahlung eingeschaltet sind.

Fehlergrenzen: ungefähr 1 %.

Zum Vergleich der fast gleichgroßen Gitterkonstanten von Ca und $\text{CaO}^1)$ bzw. Mo und $\text{W}^2)$ teilt HULL seine Kammer durch eine horizontale Scheidewand (septum) aus Messing in zwei Teile, füllt das Präparatröhrchen bis zur Scheidewand mit dem Pulver des einen Metalls, jenseits der Scheidewand mit dem des anderen Metalls und erhält so zwei Aufnahmen auf demselben Film, die längs der ϑ -Achse aneinanderstoßen. Diese Anordnung enthält im Prinzip bereits die Präzisionsmethode von DAVEY.

2. Präzisionsmethode von KÜSTNER, 1922.

Im Gegensatz zu HULL erreicht KÜSTNER³⁾ eine größere Genauigkeit der Gitterkonstantenbestimmung nicht durch Vergrößerung des Kammerradius, sondern durch Verfeinerung des Primärstrahls und besonders des Präparats.

Anordnung (Fig. 9): eine zylindrische Kammer von ca. 40 mm Durchmesser mit horizontaler Achse. Durch eine Spaltblende von 0,8 mm \times 4 mm gelangen in die Kammer nur Strahlen, die die Stirnfläche der Antikathode streifend verlassen. Dadurch wirkt die Antikathode selbst als erste Spaltblende: außerdem ist die kontinuierliche Bremsstrahlung in dieser zur Richtung der Kathodenstrahlen senkrechten Richtung minimal. In der Kammer befindet sich noch eine weitere Blende, die hauptsächlich zum Abfangen der an der Spaltblende gebeugten Strahlen dient. Der in schwarzes Papier gewickelte Film wird durch zwei Blattfedern gegen die Innenwand der Kammer gedrückt.

Das Präparat ist ein dünner Seidenfaden, der mit Kristallpulver beklebt ist. Der Faden wird durch vier Träger mit 0,5 mm großen Löchern in der Kammerachse gehalten und kann um 2 cm hin und

¹⁾ A. W. HULL, Phys. Rev. (2), 1921, Bd. 17, S. 42—44.

²⁾ A. W. HULL, ebenda S. 575.

³⁾ F. KÜSTNER, Phys. Zeitschr. 1922, Bd. 23, S. 257—262.

her gezogen werden. KÜSTNER gibt für einen speziellen Fall als Radius des Pulverzylinders 0,08 mm an.

Bestimmung des Kammerradius: Der Durchmesser der Kammer und die Dicken des Films und des schwarzen Papiers werden direkt gemessen.

Belichtungszeit: 225 bis 630 mA-Minuten für Cu-Strahlung.

Korrektion bei Ablesung der Kurvenmitten: $-r(1 + \frac{R}{m} \cos \vartheta)$,

wobei m der Abstand vom Brennfleck bis zum Präparat ist.

Fehlergrenzen: Für das Mittel aus zwei Aufnahmen von CaS ergibt sich ein wahrscheinlicher Fehler der $\frac{\sin \vartheta}{\sqrt{\Sigma h^2}}$ -Werte von 0,7‰:

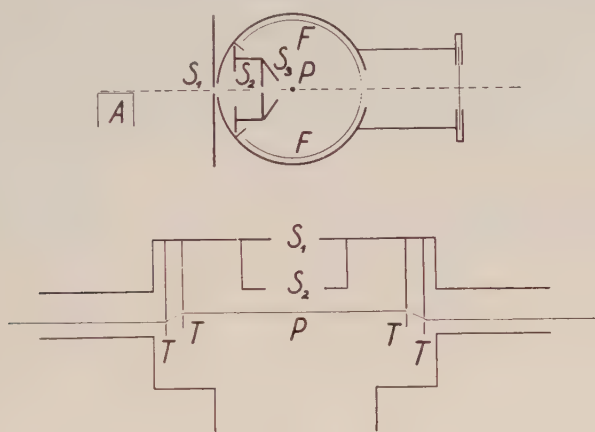


Fig. 9.

A Antikathode, S_1 — S_3 Spaltblenden, T Präparatträger.

dazu kommt ein Fehler von ca. 0,5‰ bei der Bestimmung des Kammerradius. Der wahrscheinliche Fehler ist danach, von kleineren Fehlerquellen abgesehen, ungefähr 1,2‰. Die Angabe von KÜSTNER ($a = 5,7366 \pm 0,0007$, d. h. ein Fehler von 0,12‰) beruht wahrscheinlich auf einem Dezimalenirrtum.

Ein Nachteil der Methode ist das Durchhängen des Fadens, also eine Exzentrizität des Präparats¹⁾.

3. Präzisionsmethode von VAN ARKEL, 1926

Die Präzisionsmethode von VAN ARKEL²⁾ unterscheidet sich von der von KÜSTNER hauptsächlich durch die Art der Filmanbringung.

¹⁾ CL. V. SIMSON, Z. phys. Chem. 1924, Bd. 109, S. 185—186.

²⁾ A. E. VAN ARKEL, Physica 1926, Bd. 6, S. 64—69.

Anordnung (Fig. 10): Die Kammer besteht aus zwei flachen, einseitig geschlossenen Dosen, die durch drei Metallbrücken so zusammengehalten werden, daß zwischen beiden Teilen ein Abstand von einigen Millimetern bleibt. Außen an der Kammer ist eine verstellbare Spaltblende angebracht; im Innern der Kammer befindet sich eine zweite Spaltblende. Der Film wird um die Außenwand der Kammer gelegt, und zwar so, daß seine Mitte sich zwischen den Spaltblenden befindet und die Enden in der Nähe der Austrittsstelle der Röntgenstrahlen durch Schrauben K an die Kammerwand gedrückt werden. Der äußere Kammerumfang beträgt 370 mm, der Kammerradius also rund 58 mm.

Präparat: Ein Metalldraht oder ein mit Kristallpulver bestäubter Seidenfaden von 0,1 mm Dicke, der durch je ein feines Loch in den Achsen der beiden Dosen gezogen und von außen durch Schrauben festgeklemmt wird.

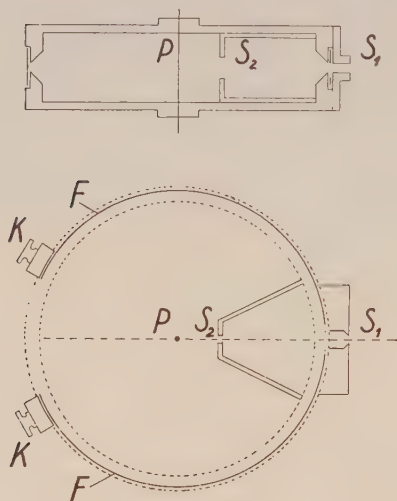


Fig. 10.

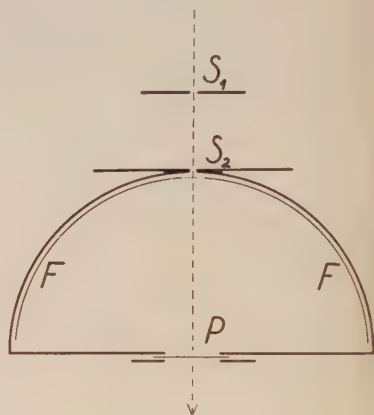


Fig. 11.

Fehlergrenze: ca. $1 \text{ } ^\circ_{00}$; bei besonders scharfen Beugungskurven¹⁾ soll eine Fehlergrenze von $0,1 \text{ } ^\circ_{00}$ erreicht werden. Für Präzisionsmessungen werden nur die Reflexe unter großen Glanzwinkeln benutzt.

Korrektion: In der späteren Arbeit¹⁾ gibt VAN ARKEL als Korrektion an:

$$\Delta a = C l \operatorname{tg} \frac{1}{4R},$$

worin a die Gitterkonstante, l der Abstand zweier symmetrischer Beugungskurven, C eine Konstante $\left(C = a \frac{1}{4R} \left(\frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta R}{R} \right) \right)$ ist. Die

¹⁾ A. E. VAN ARKEL, Zeitschr. f. Krist. 1928, Bd. 67, S. 235—238.

wahre Gitterkonstante wird, wie bei der Methode von SACHS und WEERTS durch Extrapolation bestimmt.

4. Präzisionsmethode von DEHLINGER, 1927

Ebenfalls auf der Bestimmung der Gitterkonstanten aus großen Glanzwinkeln beruht die Methode von DEHLINGER¹⁾.

Anordnung (Fig. 11): Halbzyylinderförmige Kammer für den Beugungswinkelbereich ϑ zwischen 90° und 180° ; der Film wird an die Innenwand des Zylinders gedrückt. Die verstellbare Spaltblende S_2 berührt den Filmzylinder. Zwischen dieser Blende und der Antikathode befindet sich eine zweite Blende S_1 .

Präparat: Eine ebene Pulverschicht oder Metallplatte, die senkrecht zum Primärstrahl steht und genau durch die Achse des Filmzylinders gelegt ist.

Fehlergrenze: 0,1 ‰ als Ableungsfehler, 1 ‰ als Fehler der Gitterkonstante²⁾.

Über die Bestimmung des wirkamen Kammerradius wird nichts angegeben.

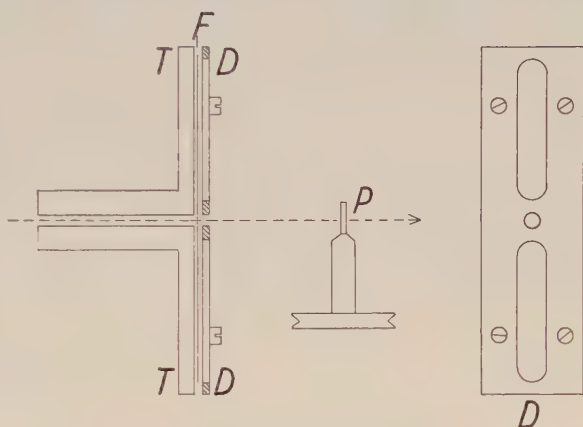


Fig. 12.

T Filmträger mit Blende, D Deckplatte (auf der rechten Abbildung vom Präparat aus gesehen).

5. Präzisionsmethode von SACHS und WEERTS, 1930

SACHS und WEERTS³⁾ benutzen zur Gitterkonstantenbestimmung auch nur die größten Glanzwinkel, vor allem die Reflexe, die in α_1 - und α_2 -Kurven zerlegt sind.

Anordnung (Fig. 12): Die hohlzylinderförmige Blende von 1,5 mm Durchmesser ist an ihrem der Antikathode entgegengesetzten Ende zu einem ebenen, senkrecht zur Blendennachse stehenden Filmträger ausgebildet. Der in der Mitte gelochte, mit schwarzem Papier um-

¹⁾ U. DEHLINGER, Zeitschr. f. Krist. 1927, Bd. 65, S. 615—617.

²⁾ A. SIMON, Zeitschr. anorg. Chem. 1927, Bd. 165, S. 31—40. — U. DEHLINGER u. R. GLOCKER, ebenda, S. 42.

³⁾ G. SACHS u. J. WEERTS, Zeitschr. f. Phys. 1930, Bd. 60, S. 481—490.

hüllte, einseitig mit Emulsion begossene Film wird durch eine Deckplatte an den Filmträger gedrückt.

Präparat: Ein Stäbchen von mehreren Millimetern im Durchmesser, das um eine Achse parallel zur Längsrichtung des Films gedreht werden kann. Der Abstand A des Präparats vom Film beträgt ca. 8 cm und wird auf 0,1 mm genau gemessen.

Belichtungszeit: 4 Stunden bei 35 KV und 9 mA.

Ablesung des Films mit Hilfe eines Komparators auf 0,1 mm genau.

Korrektion: Fehler, die durch ungenaue Bestimmung des Abstandes zwischen Präparat und Film und durch gleichmäßige Schrumpfung des Films bei der Entwicklung entstehen, werden durch folgende Überlegung für kubische Kristalle eliminiert. Ist l der Abstand zwischen zwei symmetrischen Beugungskurven, so ist die Abweichung Δl , die durch die erwähnten Fehler hervorgerufen wird,

proportional l , d. h. $\Delta l = cl$. Berücksichtigt man, daß $\frac{1}{2A} = -\operatorname{ctg} \vartheta$ und $\frac{\Delta a}{a} = -\operatorname{ctg} \frac{\vartheta}{2} \cdot \Delta \left(\frac{\vartheta}{2} \right)$ (durch Differentiation der BRAGG'schen Gleichung

$a = \frac{\lambda \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}{2 \sin \vartheta/2}$ nach $\Delta \left(\frac{\vartheta}{2} \right)$) ist, so erhält man als Fehler:

$$\frac{\Delta a}{a} = K \cdot \operatorname{ctg} \frac{\vartheta}{2} \cdot \sin 2\vartheta,$$

worin $K = \text{const.}$ Der Fehler Δa ist eine Funktion von ϑ bzw. von $\operatorname{ctg} \frac{\vartheta}{2} \sin 2\vartheta$ und verschwindet für $\vartheta = 180^\circ$; trägt man für jeden abgelesenen Linienabstand l den Winkel ϑ oder den Ausdruck $\operatorname{ctg} \frac{\vartheta}{2} \sin 2\vartheta$ als Abszisse, die aus dem betreffenden l bzw. ϑ ermittelte Gitterkonstante als Ordinate auf und verbindet alle erhaltenen Punkte durch eine Kurve, so ergibt der Schnittpunkt dieser Kurve mit der Geraden $\vartheta = 180^\circ$ den wahren Wert der Gitterkonstanten.

Fehlergrenze: SACHS und WEERTS geben 0,05 ‰ an; die angeführten Beispiele weisen jedoch auf eine Fehlergrenze von 0,1 ‰ hin.

BARRETT und KAISER¹⁾ verwenden anstelle des Films eine photographische Platte. Sie erhalten als Gitterkonstante für Kupfer bei 20° C aus 18 Aufnahmen $a = 3,6078 \pm 0,0001 \text{ \AA}$, also eine Fehlergrenze von 0,03 ‰; für einzelne Aufnahmen²⁾ scheint jedoch der Fehler auch etwa 0,1 ‰ zu betragen.

¹⁾ C. S. BARRETT and H. F. KAISER, Proc. Amer. Phys. Soc., 1.—2. 5. 31 in Phys. Rev. (2) 1931, Bd. 37, S. 1696—1697.

²⁾ H. F. KAISER and C. S. BARRETT, ebenda S. 1697.

b) Eichung der Kammer mit einer Vergleichssubstanz

6. Präzisionsmethode von WESTGREN und PHRAGMÉN, 1924

Die Methode von WESTGREN und PHRAGMÉN¹⁾ benutzt zur Gitterkonstantenbestimmung nur die großen Glanzwinkel.

Anordnung (Fig. 13): Die Kammer besteht im wesentlichen aus einer doppelten Spaltblende von 0,2 mm Breite und 1 mm Höhe, dem Präparathalter und einem scharfrandigen Metallrahmen, der neben dem Röhrchen, das die Blenden enthält, aufgestellt ist. Gegen den Rahmen wird eine mit schwarzem Papier bedeckte photographische Platte $4,5 \times 6$ cm durch Federn andrückt.

Das Präparat ist eine polierte Metallplatte oder Kristallpulver auf einer Glasplatte. Die Platten werden gegen den fest montierten Präparathalter gedrückt.

Ablesung der Reflexe: Die kontinuierliche Röntgenstrahlung verursacht auf der Platte innerhalb des Rahmens einen Schleier. Die vertikalen Ränder des Schleiers dienen als Marken, von denen man die Abstände der Kur-

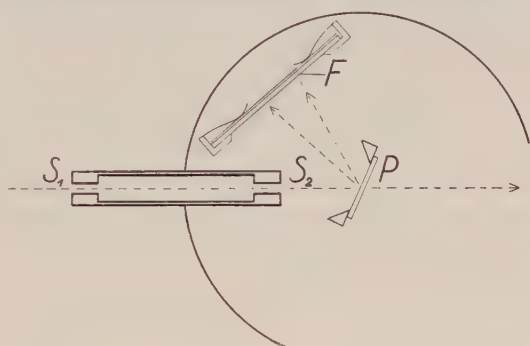


Fig. 13.

F photographische Platte.

ven abliest. Die Zuordnung dieser Abstände zu den Glanzwinkeln $\theta/2$ wird durch Steinsalzaufnahmen bestimmt.

Fehlergrenzen werden nicht angegeben; es ist jedoch anzunehmen, daß sie nicht viel größer als bei der 1930 beschriebenen Methode von SACHS und WEERTS sind.

Zum Vergleich von zwei Substanzen können auf ein und dieselbe Platte nacheinander Aufnahmen von beiden Substanzen gemacht werden. Dabei kann während der einen Aufnahme die untere, während der anderen Aufnahme die obere Hälfte der Platte durch einen Metallschirm verdeckt werden, so daß man auf der Platte zwei längs einer horizontalen Grenze zusammenstoßende Aufnahmen erhält. Zum Auseinanderhalten der Interferenzkurven beider Substanzen genügt es jedoch auch, während der einen Aufnahme einen schmalen Streifen in der Längsrichtung der Platte abzudecken.

¹⁾ A. WESTGREN and G. PHRAGMÉN, Journ. Iron and Steel Inst. 1924, Bd. 109, S. 159—174.

7. Präzisionsmethode von KOLKMEIJER, 1929

Anordnung: Bei der Methode von KOLKMEIJER¹⁾ werden die Interferenzkurven auf 5 photographischen Platten aufgenommen; die Platten werden gegen sechseckige Erhöhungen des Bodens und des Deckels einer geschlossenen Kammer durch Federn angedrückt. In der Kammerwand befindet sich hinter jeder Platte ein feines Loch, das für kurze Zeit geöffnet wird. Dadurch entsteht auf der Platte ein kleiner dunkler Fleck, der als Marke benutzt wird. Die Kammer wird wie bei dem Verfahren von WESTGREN und PHRAGMÉN durch Steinsalzaufnahmen geeicht.

Präparat: wie bei der Methode VAN ARKELS.

Die Methode wurde nicht praktisch angewandt²⁾.

8. Präzisionsmethode von REGLER, 1930

Von REGLER³⁾ wurde eine Universalkammer beschrieben, die auch für Debye-Scherrer-Aufnahmen benutzt werden kann.

Anordnung: Als Außenwand der Kammer dient ein quaderförmiger Bleikasten, dessen Vertikalwände herausziehbar sind. In den Bleikasten ragen eine 6 cm lange Bleiblende mit 1,5 mm Durchmesser und durch die Ober- und die Unterwand je eine Futterzange hinein. Die Futterzangen sind zentrierbar und lassen sich mit Hilfe von Zahnrädern gleichschnell und gleichsinnig drehen. An den Lagern der Futterzangen wird im Innern des Bleikastens der Filmhalter befestigt, ein dickwandiger Messingzylinder mit einem Längsschlitz und ausgespartem ringförmigen Mittelteil; der Film wird um den Filmhalter gelegt und am Längsschlitz festgeklemt.

Präparat: Zwischen den beiden Futterzangen wird ein dünner Kupfer- oder Eisendraht ausgespannt, auf den mit Zaponlack oder Kollodium das Kristallpulver aufgetragen wird. Mit Hilfe eines FRAUENHOFER'schen Mikrometers, das sich auf eine Seite des Bleikastens aufsetzen läßt, wird der Draht zentriert und die Dicke des Präparats gemessen.

Der Filmhalterradius wurde mit Hilfe von 4 Steinsalzaufnahmen zu $28,52 \pm 0,02$ mm bestimmt, dabei wurden Präparate von 0,53 bis 2,18 mm Durchmesser benutzt.

Ablesung und Korrektur: Es wurden die äußeren Ränder der Beugungskurven abgelesen und die abgelesenen Größen nach HADDING

¹⁾ N. H. KOLKMEIJER, Transact. Faraday Soc. 1929, Bd. 25, S. 392—397.

²⁾ N. H. KOLKMEIJER und A. L. TH. MOESVELD, Zeitschr. f. Krist. 1931, Bd. 80, S. 66.

³⁾ F. REGLER, Mikrochemie, Beihefte 1930, Bd. 8 (2), S. 1—40; Phys. Zeitschr. 1931, Bd. 32, S. 680—687.

korrigiert. Außerdem wurde eine Korrektur für die Divergenz der Röntgenstrahlen aus dem Gang der Differenz

$$(\vartheta \text{ gemessen} - \vartheta \text{ berechnet}) \text{ Steinsalz}$$

als Funktion von $\sin^2 \vartheta/2$ ermittelt.

Zur Bestimmung der Filmschrumpfung wurden auf den Film vier äquidistante kreuzförmige Marken kopiert.

Die Fehlergrenzen werden von REGLER nicht angegeben; aus dem Fehler bei der Bestimmung des Kammerradius folgt jedoch, daß die Fehlergrenze etwa 1 °_{00} beträgt. NEUBURGER^{1) 2)} hat mit Hilfe einer Reglerkammer die Gitterkonstanten von Nb und Cu_2O bestimmt. Er gibt Fehlergrenzen von 0,5 bzw. $0,6 \text{ }^{\circ}_{00}$ an.

LIHL³⁾ kommt für die Gitterkonstante von As_2O_3 zu einer Fehlergrenze von $0,02 \text{ }^{\circ}_{00}$. Es handelt sich jedoch hierbei um eine unzulässige Fehlergrenzenbestimmung. Aus drei Aufnahmen erhält LIHL die drei Gitterkonstanten: 11,0456, 11,0459 und $11,0457 \text{ \AA}$, von denen jeder ein wahrscheinlicher Ablesungsfehler von $0,1 \text{ }^{\circ}_{00}$ anhaftet, der aus den LIHL'schen Daten gefolgert werden kann. Hinzu kommt jedoch in jedem Fall der Kammerradiusfehler.

Es kann nur als Zufall betrachtet werden, daß die Abweichungen zwischen den drei Gitterkonstanten weit kleiner als die Fehlergrenzen sind.

9. Präzisionsmethode von KOLKMEIJER und MOESVELD, 1931⁴⁾

Anordnung (Fig. 14): Zylindrische Kammer mit üblichem Durchmesser ($2R = 55,4 \text{ mm}$). Der Film wird an die Innenwand durch

¹⁾ M. C. NEUBURGER, Zeitschr. f. Krist. 1931, Bd. 77, S. 164—167; Zeitschr. f. anorg. Chem. 1931, Bd. 197, S. 219—223.

²⁾ M. C. NEUBURGER, Zeitschr. f. Krist. 1931, Bd. 77, S. 169—170; Zeitschr. f. Phys. 1931, Bd. 67, S. 845—850.

³⁾ F. LIHL, Zeitschr. f. Krist. 1932, Bd. 81, S. 142—147.

⁴⁾ N. H. KOLKMEIJER u. A. L. TH. MOESVELD, Zeitschr. f. Krist. 1931, Bd. 80, S. 67—90.

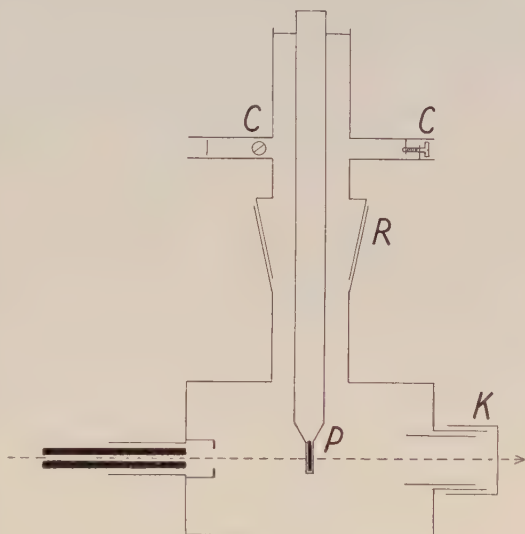


Fig. 14.

zwei ringförmige Federn angedrückt; die Filmenden außerdem durch zwei kleine Federn.

Präparat: Ein längeres Glasrohr ist an einem Ende zu einer Kapillare von 0,7—1 mm Durchmesser und 0,01 mm Wandstärke ausgezogen. In der Kapillare befindet sich das Kristallpulver. Die Kapillare kann durch Verschieben der Glasröhre mit Hilfe der Schrauben C zentriert werden.

Belichtungsdauer: 7 Stunden bei 10–11 mA und 70 KV.

Der Kammerradius wurde sowohl durch direkte Messung mit einem Innentaster, dessen Spitzenabstand mit einem Zeisskomparator gemessen wurde, als auch durch mehrere Steinsalzaufnahmen bestimmt. Die Kapillare wurde mit Hilfe eines Mikroskops, das an den Stützen K angesetzt werden kann, zentriert, allerdings nur in bezug auf die Achse des Schliffs R; die Abweichung des Präparats von der Kammerachse muß aus den Aufnahmen bestimmt werden.

Ablesung der Beugungskurven: auf alle 4 Kanten des Films wird vor der Aufnahme eine Millimeterteilung kopiert. Diese Teilung wird zur Bestimmung der Filmschrumpfung und zur Bestimmung der Geraden, längs der der Film abgelesen werden soll, benutzt. Die Ablesung geschieht mit Hilfe einer durch photographische Reproduktion auf ein Viertel ihrer wirklichen Größe verkleinerten Millimeterskala unter Anwendung einer 6-, 8- oder 10fachen Lupe.

Fehlergrenze: 2‰, in Anbetracht der Umständlichkeit des Verfahrens und der großen Sorgfalt bei allen Messungen eine sehr wenig befriedigende Genauigkeit.

c) Eichung jeder einzelnen Aufnahme mit einer Vergleichssubstanz

10. Präzisionsmethode von DAVEY, 1921

Die Methode von DAVEY¹⁾ schließt sich im wesentlichen an die HULL'schen Doppelaufnahmen (s. S. 184), an, jedoch mit dem Unterschied, daß die Vergleichssubstanz stets Steinsalz ist.

Anordnung (Fig. 15): Die Kammer nimmt einen Filmstreifen auf, der nur etwas mehr als einem Viertel des Zylinderumfangs entspricht. Es können also nur Beugungswinkel zwischen $\vartheta = 0^\circ$ und $\vartheta = 90^\circ$ beobachtet werden.

Die Zylinderwand besteht aus einem schwarzen Celluloidstreifen Z, um den der Film gelegt wird. Der Film wird durch eine breite Messingfeder B, die sich durch eine Schraube anziehen läßt, an den Celluloidstreifen angedrückt. Die Kammer wird durch eine Scheide-

¹⁾ W. P. DAVEY, Journ. Opt. Soc. Amer. 1921, Bd. 5, S. 479—493; Gen. Elect. Rev. 1922, Bd. 25, S. 565—580.

wand senkrecht zur Zylinderachse in zwei Teile geteilt. Der Zylinder-radius beträgt 20 cm. Der Primärstrahl geht, bevor er auf den Film trifft, durch einen stufenförmigen Satz von Kupferplättchen; er wird an verschiedenen Stellen in Richtung seiner größten Breite (senkrecht zur Zeichnungsebene) verschieden stark absorbiert und schwärzt an irgendeiner Stelle den Film etwa so stark wie ein gebeugter Strahl. Man kann von dem derart gedämpften Durchstoßpunkt des Primärstrahls die Beugungswinkel ϑ ablesen.

Das Präparat ist ein dünnwandiges Glasröhrchen, das zur Hälfte mit dem zu untersuchenden Kristallpulver, wenn nötig mit Mehl verdünnt, zur anderen Hälfte mit Steinsalzpulver gefüllt ist; oder ein dünnes Pulverplättchen.

Belichtungszeit: 5—70 Stunden bei 30 KV und 30 mA Molybdänstrahlung. In den Strahlengang sind zwei Zr-Filter ($0,05 \text{ g ZrO}_2/\text{cm}^2$) eingeschaltet: das eine im Blendensystem, das andere unmittelbar vor dem Film.

Fehlergrenzen: ca. 1 °_{00} ; bei einigen späteren Aufnahmen¹⁾ bis hinab auf $0,3 \text{ }^\circ_{00}$.

BLAKE²⁾ verwendet eine halbzylinderförmige Kammer (ähnlich der von HULL) von 16,65 cm Halbmesser. Dadurch, daß der Kanal zum Einsetzen des Pulverstäbchens im gleichen Arbeitsgang mit der Kammerwand gedreht ist, sowie durch Ablesen der Kurven mit einem Komparator und durch Anwendung einer Stäbchenkorrektur gelingt es BLAKE, die Ablesungsfehlergrenzen auf 0,1 bis $0,3 \text{ }^\circ_{00}$ für eine Aufnahme herabzusetzen. Hinzu kommt ein ebenso großer Fehler für die Steinsalzaufnahme.

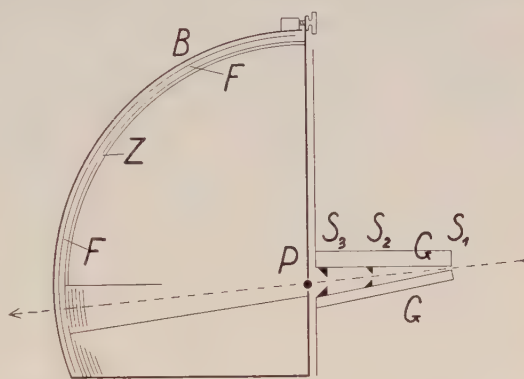


Fig. 15.
G Glasplatten.

11. Präzisionsmethode von WYCKOFF, 1923

R. W. G. WYCKOFF³⁾ benutzt als Präparat ein Gemisch des Versuchspulvers mit Steinsalz, so daß die Röntgenaufnahmen der beiden Kristallpulver sich auf einem Film überlagern. Für beide Kurven-

¹⁾ W. P. DAVEY, Phys. Rev. (2) 1925, Bd. 25, S. 753—761; Zeitschr. f. Krist. 1926, Bd. 63, S. 316—317.

²⁾ F. C. BLAKE, Phys. Rev. (2), 1925, Bd. 26, S. 60—70.

³⁾ R. W. G. WYCKOFF, Zeitschr. f. Krist. 1924, Bd. 59, S. 55—57.

systeme gilt dieselbe Präparatdicke und dieselbe Eindringungstiefe der Röntgenstrahlen. Die Korrektion auf die Präparatdicke und auf die Divergenz der Röntgenstrahlen ist daher für den ganzen Film einheitlich und nur von ϑ abhängig; sie kann aus der Differenz (¹ berechnet — ¹ beobachtet) der Steinsalzreflexe berechnet werden ¹), wenn der Kammerradius bekannt ist. Als Beispiel für eine solche Korrektionsdurchführung mag die Bestimmung ²) der Gitterkonstanten von BaTe in einer Kammer von 57,45 mm Durchmesser mit CuK α -Strahlung ($\lambda = 1,539 \text{ \AA}$) aufgeführt werden. Hierbei bedeuten $\frac{\vartheta'}{2}$ den direkt gemessenen, $\frac{\vartheta}{2}$ den in bezug auf Divergenz korrigierten Glanzwinkel.

Tabelle 3

Steinsalz			BaTe		
$2(1-r)$	$\frac{\vartheta'}{2}$	$\frac{\vartheta}{2}$	$\frac{\vartheta'}{2}$	$\frac{\vartheta}{2}$	a_w
32,9	16,36°	15,87°			
46,1			22,99°	22,45°	6,981
46,7	23,29	22,75			
53,5			26,68	26,13	6,987
57,8	28,82	28,27			
60,3			30,07	29,51	6,984
66,6			33,21	32,63	6,990
76,8	38,30	37,70			
84,1			41,94	41,36	6,986
85,5	42,64	42,06			
			im Mittel		6,986
					$\pm 0,002 \text{ \AA}$

Die Rechnung kann jedoch noch dadurch vereinfacht werden, daß man von dem Kurvenabstand $2l$ (oder l) ausgeht und für Kammern von ungefähr 180 mm Umfang $l = \frac{\vartheta'}{2}$ setzt; für Kammern von anderen Durchmessern braucht für die Berechnung von $\frac{\vartheta'}{2}$ aus $2l$ auch nur ein roher Wert des Kammerradius eingesetzt zu werden. Die Korrektion wird dann ebenso wie in der Tabelle 3 durchgeführt, am besten mit Hilfe einer Kurve, die durch die Punkte mit $\frac{\vartheta'}{2}$ als Abszissen und $\frac{1}{2}(\vartheta' - \vartheta)$ für Steinsalz als Ordinaten geht. Der genaue Kammer-

¹) R. J. HAVIGHURST, E. MACK and F. C. BLAKE, Journ. Amer. Chem. Soc. 1924, Bd. 46, S. 2368—2374.

²) V. M. GOLDSCHMIDT, Zeitschr. f. Krist. 1928, Bd. 69, S. 411—414. Diese Korrektion wird auch von Schülern V. M. GOLDSCHMIDT's benutzt.

radius braucht dabei gar nicht bekannt zu sein; auch alle übrigen Fehler, mit Ausnahme der Ablesungsfehler, werden durch diese Korrektur eliminiert. Daß die Korrektur $\frac{1}{2}(\vartheta' - \vartheta)$ in der Tabelle 3 nicht nur die Divergenz der Röntgenstrahlen, sondern auch andere Fehler berücksichtigt, sieht man schon daraus, daß $\frac{1}{2}(\vartheta' - \vartheta)$ mit wachsendem ϑ größer wird, während die Korrektur auf die Strahlen-divergenz mit wachsendem ϑ abnimmt.

Anordnung: WYCKOFF benutzt meist große Kammern mit zwei Spaltblenden, jedoch läßt sich seine Methode auch bei allen bisher beschriebenen Kammern (ohne Scheidewand) anwenden.

Das Präparat kann sowohl in zylindrischer Form als auch in Form von ebenen Schichten¹⁾ hergestellt sein.

Die Fehlergrenzen liegen zwischen 0,3 und 0,8 ‰^{1, 2)}.

Eine Erhöhung der Genauigkeit erzielte G. MAYER³⁾ dadurch, daß er Pulveraufnahmen von Eisen photometrierte und die Beugungswinkel aus den Abständen der scharfen Photometerkurvenspitzen benachbarter NaCl- und Fe-Kurven bestimmte. Dadurch erreichte er eine Ablesegenauigkeit von 0,01 mm = 0,6' für den Glanzwinkel bei einem Kammerdurchmesser von 57,3 mm. Als Mittel aus 60 Aufnahmen erhielt er für Eisen die Gitterkonstante $a_w = 2,861_{06} \pm 0,00003$, d. h. eine Fehlergrenze von 0,01 ‰. Die aus einer einzelnen Interferenzkurve bestimmte Gitterkonstante wich im Maximum um 2 ‰ von dem aus der ganzen Aufnahme bestimmten Mittelwert ab. Daraus könnte man schließen, daß der wahrscheinliche Fehler für eine Aufnahme etwa von derselben Größe ist wie bei den übrigen Präzisionsmethoden.

12. Präzisionsmethode von MENZER, 1928

Die vom Verf. beschriebene⁴⁾ und mehrfach angewandte^{4, 5)} Methode beruht darauf, daß auf einen Film nacheinander eine Pulveraufnahme von dem zu untersuchenden Kristallpulver und eine Schwenkaufnahme von Steinsalz gemacht wird. Die Gitterkonstanten werden nur aus Reflexen unter großen Glanzwinkeln ($\frac{\vartheta}{2}$ um 70–80°) berechnet.

Anordnung (Fig. 16): Die zylindrische Innenwand der lichtdicht abschließbaren Kammer ist in einem Arbeitsgang mit dem Achsenlager gedreht. Die Achse ist an einem Ende mit einer feinen

¹⁾ R. J. HAVIGHURST, E. MACK and F. C. BLAKE, l. c.

²⁾ R. W. G. WYCKOFF, l. c.; V. M. GOLDSCHMIDT, l. c. u. a.

³⁾ G. MAYER, Zeitschr. f. Krist. 1929, Bd. 70, S. 383–384.

⁴⁾ G. MENZER, Zeitschr. f. Krist. 1928, Bd. 69, S. 304.

⁵⁾ G. MENZER, Zeitschr. f. Krist. 1930, Bd. 75, S. 268; 1931, Bd. 78, S. 140.

Bohrung von höchstens 0,5 mm Durchmesser versehen, die zum Einsetzen des Präparats dient. Der obere Teil der Achse ist hohl; in dem Hohlraum befindet sich ein zylindrischer Metallstab mit einem Steinsalzspaltstück, das einige Millimeter lang und einige Zehntelmillimeter breit und dick ist, am unteren Ende in der Querbohrung *C* der Achse. Senkrecht zu dieser Bohrung und zur Achse steht eine zweite Bohrung, die das Justieren und Zentrieren des Spaltstückes (mit Hilfe der Schrauben *b*) erleichtert. Das aus der Kammer herausragende Ende der Achse trägt ein großes Zahnrad *A* (etwa vom Durchmesser der Kammer) und darüber eine Gabel, die sich um das Scharnier *d* kippen läßt. Der Bügel, der drei Einkerbungen bei *a*, *a'*

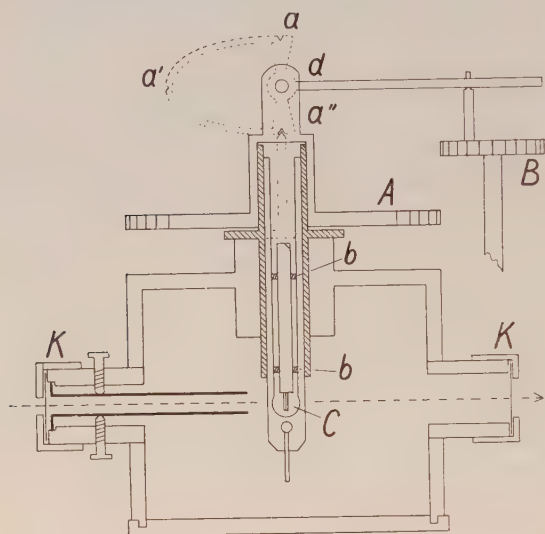


Fig. 16.

und *a''* trägt, bewirkt, daß nur drei Lagen der Gabel stabil sind: die Gabel bildet entweder die Verlängerung der Achse oder sie steht senkrecht zur Achse. Im ersten Fall befindet sich im Röntgenstrahl das Präparat; das Zahnrad *A* und mit ihm das Präparat werden von einem zweiten gleichmäßig rotierenden Zahnrad *B* gedreht. Kippt man die Gabel um, so daß sie senkrecht zur Achse steht, dann senkt

¹⁾ Bei den zitierten Untersuchungen wurde das Präparat noch nicht automatisch durch das Steinsalzspaltstück ersetzt; sondern es wurden in einer einfacheren Kammer nacheinander eine Achse mit dem Präparat und eine zweite Achse mit Steinsalzspaltstück und Gabel benutzt.

Innenwand der Kammer gedrückt und so eingelegt, daß die röhrenförmige Blende durch ein Loch in seiner Mitte geht. Die Öffnungen der Kappen K sind mit schwarzem oder rotem Papier verdeckt.

Als Präparat wurden Pulverzylinder von 0,5 bis 0,8 mm Durchmesser angewandt, die durch abwechselndes Eintauchen von etwa 0,3 mm dicken Glasstäbchen in Kristallpulver und in eine 2%ige Lösung von Kollodium in Äther hergestellt wurden. Es können jedoch auch andere Pulverstäbchen sowie Pulverplatten benutzt werden. Im letzten Fall muß das Zahnrad B entfernt werden.

Steinsalz liefert für die Cu-K α -Strahlung als äußersten Reflex auf dem Äquator den Reflex an (640) mit

$$\frac{\vartheta}{2} = 80,02^\circ$$

für $\lambda\alpha_1 = 1,53730 \text{ \AA}$ und

$$\frac{\vartheta}{2} = 80,87^\circ$$

für $\lambda\alpha_2 = 1,54116 \text{ \AA}$.

Stellt man das Steinsalzspaltstück so ein, daß der Primärstrahl parallel [110] verläuft und [001] in Richtung der Kammerachse fällt, dann braucht man das Spaltstück um [001] als Achse nur um den Winkel

$$\frac{\chi}{2} = \frac{1}{2} (\psi + \vartheta - \pi)$$

aus dieser Lage herauszudrehen, um den Reflex (640) zu erhalten; dabei ist ψ der spitze Winkel zwischen (640) und (460) (Fig. 17). Der Winkel χ beträgt $2,66^\circ$ für K α_1 und $4,36^\circ$ für K α_2 .

Auch für die Strahlungen, die von Fe-, Co-, Ni-Antikathoden herühren, kann das Steinsalzspaltstück als Vergleichssubstanz benutzt werden. In der Tabelle 4 sind für diese Strahlungen die Ausgangsstellung des Spaltstücks, die Indizes der beugenden Fläche, die Glanzwinkel und der volle Schwenkwinkel χ , der beide Reflexe, α_1 und α_2 , ermöglicht, zusammengestellt.

Die Vorteile der Methode sind die kurze Belichtungszeit für die Steinsalzreflexe, nämlich $\frac{1}{15}$ bis $\frac{1}{20}$ der Zeit, die man für eine Pulveraufnahme von Steinsalz braucht, und das Erscheinen der Steinsalzreflexe als auffällige kurze Marken auf der Pulveraufnahme.

Von den Korrekturen brauchen nur die Präparatkorrekturen und die Korrektur auf die Strahlendivergenz berücksichtigt zu werden,

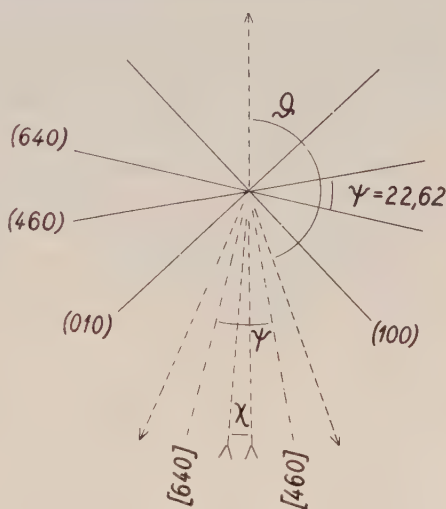


Fig. 17.

Tabelle 4

	Fe	Co	Ni	
Ausgangsstellung: [uvw], parallel dem Primärstrahl	[110] (440)	[100] (600)	[110]	[100]
Beugende Fläche			<310>	
Glanzwinkel für α_1	76,20°	72,11°	68,39°	
Glanzwinkel für α_2	76,72°	72,53°	68,74°	
Schwenkwinkel χ	27,60°	35,78°	10,58°	6,36°

die für große Glanzwinkel sehr klein werden und deren Fehler für die Fehlergrenze ohne Einfluß sind. Für das Steinsalzspaltstück können auch diese Korrekturen fortgelassen werden. Im Fall [100] parallel dem Primärstrahl in der Ausgangsstellung können die Korrekturen jedoch nur dann vernachlässigt werden, wenn das Spaltstück nicht quadratischen Querschnitt hat, sondern in der [100]-Richtung recht dünn ist (etwa 0,2 mm).

Bei einer Reihe von Aufnahmen mit einer Spaltblende von 2 mm Höhe und 1 mm Breite wurde ein mittlerer Gitterkonstantenfehler von 0,2 bis 0,3₀₀ gefunden. Der wahrscheinliche Fehler läßt sich gewiß auf 0,1₀₀ herabdrücken, wenn man feinere Blenden und Präparate verwendet und zur Ablesung einen sorgfältig geeichten Glasmaßstab benutzt.

II. Fokussierungsmethoden

Unter den Nachteilen der DEBYE-SCHERRER-Methode spielt die Divergenz der gebeugten Strahlen eine erhebliche Rolle. Die Verbreiterung der Interferenzkurven infolge der Strahlendivergenz kann nur dadurch gemäßigt werden, daß man die Divergenz des Primärstrahls vermindert, also entweder seine Breite verkleinert oder den Abstand des Präparats von der Strahlenquelle vergrößert. Beides hat eine Verlängerung der Belichtungszeit zur Folge. Es wurden daher einige Methoden ausgearbeitet, bei denen ein divergentes Primärstrahlenbündel durch eine geeignete Form des Pulverpräparats als konvergentes Strahlenbündel gebeugt wird (Fokussierung).

Damit das divergente Strahlenbündel, das von A (Fig. 18) ausgeht, für einen Beugungswinkel ϑ wieder durch einen Punkt B geht, muß das Pulverpräparat auf einer Fläche verteilt sein, die durch Rotation des Bogens ACB um die Gerade $AB=c$ als Achse entsteht. Der Bogen AB entspricht dem Winkel 2ϑ . Der auf AB senkrecht stehende Durchmesser der Rotationsfläche, die einen Teil eines Toroids bildet, ist von der Größe $c \operatorname{tg} \vartheta$. Jedem Beugungswinkel ϑ entspricht daher ein anderes Toroid. Es gibt infolgedessen keine Möglichkeit, alle an einem Präparat gebeugten Strahlen zu fokussieren.

Es ist jedoch möglich, eine annähernde Fokussierung dadurch zu erreichen, daß nur ein kleiner Teil der Toroidfläche bestrahlt wird, den man zur Vereinfachung außerdem durch eine Tangentialebene oder eine Zylinderfläche ersetzt.

Verwendet man ein Strahlenbüschel, das nur in der Ebene ABC divergent ist und an Stelle des Toroids die Zylinderfläche, deren Spur ACB ist, so sind alle in der Ebene ABC innerhalb der Zylinderfläche gebeugten Strahlen streng fokussiert, und alle Brennflecke liegen auf dem durch ACB gelegten Kreis. Auf dieser Vereinfachung beruht die Methode von SEEMANN. Eine geringe Divergenz des Primärstrahls senkrecht zur Ebene ABC verbreitert die Reflexe ähnlich wie beim DEBYE-SCHERRER-Verfahren.

Ersetzt man das Toroid ACB an der Stelle D durch die tangierende Ebene DE , so kann man diese Ebene als Tangentialebene zu unendlich vielen Toroiden auffassen, deren Achsen sämtlich durch AB gehen. Strahlenquelle und Brennfleck wandern dabei für jedes Toroid, also für jeden möglichen Beugungswinkel ϑ , auf der Geraden, die durch A und B geht. Benutzt man an Stelle der Tangentialebene als Pulverträger die ringförmige Kegelfläche, die durch Rotation der Geraden DE um AB als Achse entsteht, so bleibt die Fokussierung erhalten. Der zylindrische Ring bei C bildet den Pulverträger in der Methode von BRENTANO.

Stellt man die Bedingung, daß die Brennflecke für alle ϑ auf einem Kreis um D mit dem Radius DB liegen und die Strahlenquelle dauernd in A bleibt, so muß der Pulverträger allen Toroiden angehören, die durch A , D und den um D wandernden Brennfleck B' gehen und deren Achsen die Strecken AB' sind. Das läßt sich mit großer Annäherung erreichen, wenn man als Pulverträger die Tangentialebene DE wählt, die man um eine senkrecht zur Ebene ABC durch D gehende Achse entsprechend dem Beugungswinkel ϑ dreht. Dann wird die Fokussierungsbedingung durch die Beziehung

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{a}{b}$$

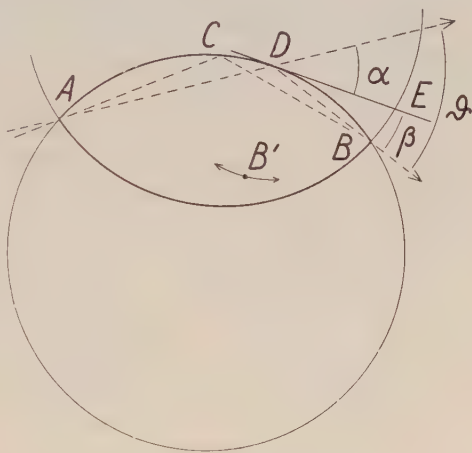


Fig. 18.

erfüllt, worin α und β die Winkel zwischen der Tangentialebene und dem Primärstrahl bzw. dem gebeugten Strahl sind und $a = AD$, $b = DB$ ist. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß vom Pulverplättchen unter allen möglichen Beugungswinkeln dauernd Strahlen ausgehen, die im allgemeinen nicht fokussiert werden und auf dem Kreis BB' ein unscharfes DEBYE-SCHERRER-Diagramm erzeugen. Es darf daher stets nur der gebeugte Strahl zur Aufnahme gelangen, für den die Fokussierungsbedingung gilt. Das wird bei der Methode von W. H. BRAGG durch Verwendung der Ionisationskammer erreicht, die mit dem Brennfleck um D rotiert, und bei der für photographische Registrierung von BRENTANO abgeänderten BRAGG-Methode durch einen rotierenden zylindrischen Schirm.

1. Methode von SEEMANN, 1919

Die erste Pulvermethode, die auf dem Prinzip der Fokussierung beruht, wurde von H. SEEMANN¹⁾ und kurz darauf von H. BOHLIN²⁾ veröffentlicht.

Die Kammer von SEEMANN besteht aus zwei coaxialen Messingringen, die gleichen Durchmesser haben: sie werden so zusammen-

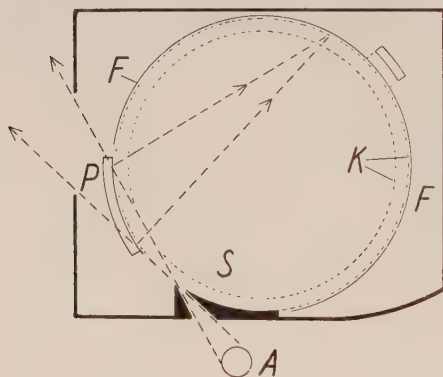


Fig. 19.

A Antikathode, K Kammerwand, in der Zeichnungsebene ausgespart.

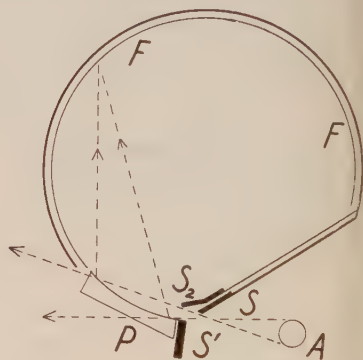


Fig. 20.

gehalten, daß zwischen ihnen ein Abstand von 10 mm bleibt. An diese Ringe (Fig. 19) wird von außen die zylindrische Pulverschicht und der photographische Film angedrückt. In der Nähe des Präparats befindet sich die Spaltblende, die aus einem festen und einem verschiebbaren Bleiklotz gebildet wird und eine Höhe von 0.5 bis 1 mm hat.

In der Kammer von BOHLIN (Fig. 20) liegt der Film an der Innenwand. Das Präparat ist hydraulisch zusammengepreßtes Pulver. Zum

¹⁾ H. SEEMANN, Ann. d. Phys. (4) 1919, Bd. 59, S. 455—464.

²⁾ H. BOHLIN, Ann. d. Phys. (4) 1920, Bd. 61, S. 421—439.

Schutz des Films vor den an SS' gestreuten Strahlen ist eine zweite Blende S_2 angebracht.

Eine modifizierte SEEMANN-Kammer wurde von LANGE¹⁾ (Fig. 21) beschrieben. Die Kammer wird von einem Ring gebildet, aus dem ein Streifen von 8 mm Höhe herausgefräst ist, so daß die beiden übrigbleibenden Ringteile nur im Gebiet der größten Beugungswinkel zusammenhängen. Die Spaltblende ist 6 mm hoch; ein Spalttrand liegt genau auf derselben Zylinderfläche wie das Pulverpräparat und die photographische Schicht. Der andere Spalttrand ist verstellbar. Der Film wird mit Hilfe von zylindrisch gekrümmten Platten M durch Federn an die Außenwand der Kammer ange-
drückt.

Kammern für bestimmte Beugungswinkelbereiche hat PHRAGMÉN²⁾ konstruiert, und zwar drei Kammertypen für die Bereiche von

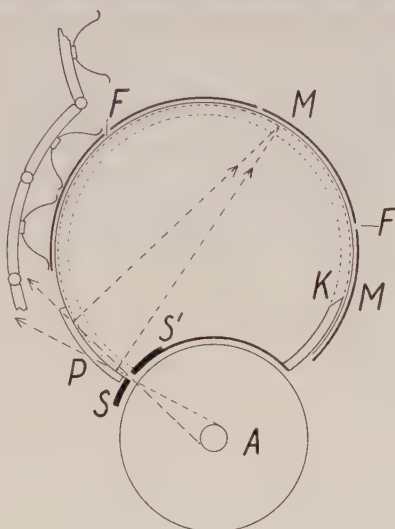


Fig. 21.

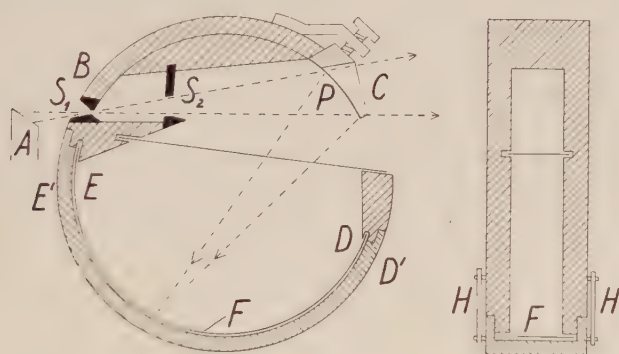


Fig. 22.

θ zwischen 33° und 61° (Kammerradius $R = 85$ mm), zwischen 58° und 117° ($R = 48$ mm) und zwischen 95° und 162° (Fig. 22, $R = 42$ mm). Die Kammern bestehen aus zwei dicken Seitenwänden $BCDE$, die

¹⁾ H. LANGE, Ann. d. Phys. (4) 1925, Bd. 76, S. 463–473.

²⁾ A. WESTGREN u. G. PHRAGMÉN, Zeitschr. f. Phys. 1925, Bd. 33, S. 777–788;
A. WESTGREN, Transact. Amer. Inst. of Mining and Metallurg. Eng. 1931, S. 2–6.

von *B* bis *C* und von *D* bis *E* zylinderförmige Ränder haben. Bei *C* wird gegen diese Ränder das Präparat mit Hilfe einer Schraube gegengedrückt und zwischen *D* und *E* der Film mittels des Halters *D'E'*, der durch Haken an die Seitenwände angezogen wird. Bei *B* befindet sich der Spalt.

Die Vorteile der SEEMANN-Methode gegenüber der DEBYE-SCHERRER-Methode sind:

1. Die Reflexe unter kleinen Glanzwinkeln werden nicht durch Absorption im Präparat geschwächt; es braucht daher auch keine Korrektion auf die Präparatdicke und auf die Divergenz der Röntgenstrahlen eingeführt zu werden ^{1, 2)}.

2. Größere Schärfe der Interferenzkurven infolge der Fokussierung ²⁾.

3. Kürzere Belichtungszeit durch Anwendung eines divergenten Röntgenstrahlenbündels und durch dessen Fokussierung.

Einige der wichtigsten Fehler und ihre automatische Eliminierung für Beugungswinkel $\vartheta \leq 90^\circ$ hat H. BOHLIN ³⁾ behandelt:

1. Die Höhe des Blendenspalts in Richtung der Erzeugenden des Filmzylinders bedingt, wie bei den DEBYE-SCHERRER-Aufnahmen, daß die Interferenzkurven zu geschwärmten Flächen verbreitert werden. Diese Flächen haben einen scharfen Rand, der dem geradlinigen scharfen Reflex $\vartheta = 90^\circ$ zugewandt ist; der andere Rand ist um so weniger scharf, je weiter ϑ von 90° entfernt ist.

2. Eine breitere Blende bedingt eine breitere Interferenzkurve. Bei Beugungswinkeln bis zu 90° entspricht dem scharfen Rand der Beugungskurve die dem Präparat näherliegende Spaltkante, bei Beugungswinkeln $\vartheta > 90^\circ$ ⁴⁾ die vom Präparat weiter entfernte Spaltkante.

3. Dringt ein Röntgenstrahl tiefer in das Präparat ein, so erscheint unter dem Beugungswinkel ein verbreitertes parallelstrahliges Bündel. Am intensivsten ist der an der Oberfläche des Präparats gebeugte Strahl. Die aus tieferen Partien des Präparats herrührenden schwächeren Strahlen verbreitern die Interferenzkurven nach kleineren ϑ hin. Für $\vartheta < 90^\circ$ übt danach die Eindringungstiefe keine Wirkung auf die Lage des scharfen Randes einer Interferenzkurve aus. Für $\vartheta = 90^\circ$ wird jedoch gerade der scharfe Rand verwaschen ⁴⁾.

Für Beugungswinkel $\vartheta < 90^\circ$ kann man nach BOHLIN die drei erwähnten Fehler dadurch ausschalten, daß man die scharfen Kanten der Beugungskurven abliest.

Für Beugungswinkel $\vartheta > 90^\circ$ müssen Korrekturen auf die Spaltbreite und auf die Eindringungstiefe angebracht werden. Die Kor-

¹⁾ H. SEEMANN, Ann. d. Phys. (4) 1919, Bd. 59, S. 455—464.

²⁾ H. BOHLIN, Ann. d. Phys. (4) 1920, Bd. 61, S. 421—439.

³⁾ H. BOHLIN, Ann. d. Phys. (4) 1920, Bd. 61, S. 424—426.

⁴⁾ (von BOHLIN wohl nicht berücksichtigt).

reaktion auf die Spaltbreite ist einfach gleich der Spaltbreite, wenn beide Spaltränder auf einer Zylinderfläche mit dem Präparat und dem Film liegen. Die Korrektur auf die Eindringungstiefe ist ähnlich wie bei DEBYE-SCHERRER-Aufnahmen an Pulverplättchen abhängig vom Beugungswinkel und vom Winkel zwischen dem Primärstrahl und der Zylinderfläche des Präparats.

Auf einige Ablesungsfehler, die physiologisch begründet sind, macht LANGE¹⁾ aufmerksam. Man liest eine Kurve an der Stelle ab, wo sie den größten Schwärzungsgradienten aufweist. Während bei einer äußerst schmalen Blendenöffnung der Ort des größten Schwärzungsgradienten praktisch mit dem scharfen Rand der Beugungskurven zusammenfällt, wird er nach experimentellen Untersuchungen von LANGE allgemein um die Spaltbreite nach kleineren ϑ hin verschoben.

Die wesentlichsten Nachteile der SEEMANN-Methode sind jedoch die Schwierigkeiten bei der Bestimmung sehr kleiner Glanzwinkel und bei den meisten Kammern die einseitige Ausbildung des Diagramms, d. h. das Fehlen der symmetrischen Beugungskurvenäste. Die Reflexe unter kleinen Glanzwinkeln erscheinen entweder gar nicht oder sie sind sehr unscharf, weil die gebeugten Strahlen fast streifend auf den Film treffen. Aus diesem Grunde darf der Film auch nur einseitig mit Emulsion begossen sein. Die unsymmetrische Ausbildung der Diagramme hat zur Folge, daß der Punkt $\vartheta = 0$ auf dem Film nicht direkt bestimmt werden kann. Nach KIRCHNER²⁾ können die Glanzwinkel genau bestimmt werden, wenn eine vorläufige Indizierung der Aufnahme gelungen ist. Sonst müssen Marken auf dem Film abgebildet werden, deren Lage am besten mit Hilfe von Steinsalz-aufnahmen bestimmt wird. KIRCHNER³⁾ erzeugt die Marke, indem er den Film durch zwei feine Bohrungen in der Kammerwand beleuchtet. LANGE benutzt als Marke den scharfen Rand der allgemeinen Schwärzung an der Stelle K (Fig. 21), an der die Kammerwand zu einer Schneide ausgebildet ist, PHRAGMÉN die Ränder der Allgemeinschwärzung an beiden Filmenden.

DE JONG⁴⁾ vermeidet den letzten Nachteil der Methode dadurch, daß er das Pulverpräparat (auf einem Ebonitträger E) gegenüber dem Spalt anbringt (Fig. 23). Der Film kann zur Erhöhung der Genauigkeit mit den Enden am Präparat und der durchlochten Mitte vor dem Spalt in die Kammer eingelegt werden.

Fehlergrenzen: Der wahrscheinliche Fehler beträgt bei BOHLIN⁵⁾ $2 \cdot 10^{-6}$; LANGE und DE JONG geben $0,5 \cdot 10^{-6}$, WESTGREN, PHRAGMÉN und

¹⁾ H. LANGE, Ann. d. Phys. (4) 1925, Bd. 76, S. 477—479.

²⁾ F. KIRCHNER, Ann. d. Phys. (4) 1922, Bd. 69, S. 66.

³⁾ F. KIRCHNER, ebenda, S. 69.

⁴⁾ W. F. DE JONG, Physica 1927, Bd. 7, S. 23—28.

⁵⁾ H. BOHLIN, Ann. d. Phys. (4) 1920, Bd. 61, aus der Tabelle auf S. 430.

ALMIN¹⁾ in einer Reihe von Arbeiten für ihre schönen Diagramme einen mittleren Fehler von 1 ‰ bis 0,3 ‰ an.

2. Methode von BRENTANO, 1919

Bei der Anordnung von BRENTANO²⁾ befindet sich das Kristallpulver auf der Innenseite eines sehr kurzen Hohlzylinders. Die Zylinderachse geht durch die Strahlenquelle. Auf der Achse werden die unter einem bestimmten ϑ gebeugten Strahlen wieder vereinigt, die eine Ebene mit der Achse gemeinsam haben, und fokussiert in einem Punkt, dessen Abstand vom Hohlzylinder gleich dem Abstand zwischen dem Hohlzylinder und der Strahlenquelle ist. Stellt man senkrecht zur Zylinderachse einen Schirm mit einem Loch, das sich

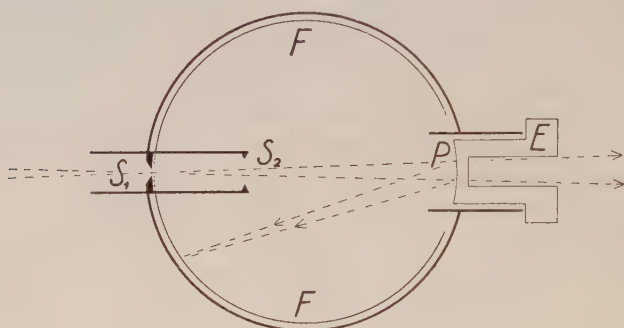


Fig. 23.

auf der Achse am Fokussierungspunkt befindet, so kann man auf einer Platte, die unmittelbar hinter dem Schirm parallel zu diesem steht, die Interferenzmaxima registrieren. Die Platte muß während der Aufnahme zwangsläufig in ihrer Ebene bewegt werden: dabei entsteht ein Diagramm in Gestalt einer linearen Reihe feiner Interferenzpunkte.

GROSS³⁾ hat eine Anordnung erwähnt, bei der im Innern des Zylinders senkrecht zur Zylinderachse eine kreisförmige Bleiwand angebracht ist, die fast bis an die Pulverschicht reicht. Die photographische Platte steht ebenfalls senkrecht zur Zylinderachse und wird zusammen mit dem Zylinder längs der Achse gegen die Strahlenquelle hin- und herbewegt. Bei dieser Anordnung wird nur eine unvollkommene Fokussierung erreicht.

¹⁾ z. B. A. WESTGREN u. G. PHRAGMÉN, Zeitschr. f. Phys. 1925, Bd. 33, S. 777 bis 788; Zeitschr. f. anorg. Chem. 1926, Bd. 156, S. 27–36. — A. WESTGREN u. A. ALMIN, Zeitschr. f. physik. Chem. (B) 1929, Bd. 5, S. 14–28.

²⁾ J. BRENTANO, Arch. sc. phys. nat. (5) 1919, Bd. 1, S. 550–552.

³⁾ R. GROSS, Fortschritte d. Min. 1922, Bd. 7, S. 104.

Eine Anordnung, die der von BRENTANO sehr ähnlich ist, wurde von HAHN ¹⁾ in einer vorläufigen Mitteilung angedeutet. Der wesentliche Unterschied scheint darin zu bestehen, daß an Stelle einer zur Zylinderachse senkrecht stehenden photographischen Platte ein Film parallel zur Achse benutzt wird.

Zu Präzisionsmessungen ist die Methode von BRENTANO nicht geeignet, weil ihr eine Reihe von schweren Nachteilen anhaftet:

1. es können nur kleine Glanzwinkel registriert werden,
2. durch die Bewegung von Zylinder, Schirm und photographischer Platte wird eine Vermehrung der technischen Fehlerquellen und der Ablesungsfehler bedingt.

3. Methode von W. H. BRAGG, 1921

W. H. BRAGG ²⁾ wendet die Ionisationsmethode auch zur Untersuchung von Kristallpulvern an. Als Präparat dient ein ebenes Pulverplättchen, das auf dem Spektrometertisch aufgestellt wird. Ionisationskammer und Plättchen werden so bewegt, daß der Primärstrahl und der gebeugte, in die Ionisationskammer eintretende Strahl denselben Winkel mit dem Plättchen bilden. Der Spalt der Ionisationskammer erscheint vom Präparat aus unter einem Winkel von einem halben Grad. Jede Ablesung dauert einige Sekunden bei 1 mA Stromstärke in der Röhre. Der Hauptteil des Beugungsspektrums kann in etwa einer halben Stunde abgelesen sein. Die Methode hat allen anderen Methoden voraus, daß die Glanzwinkel direkt abgelesen und alle Abstandsfehler vollständig vermieden werden können.

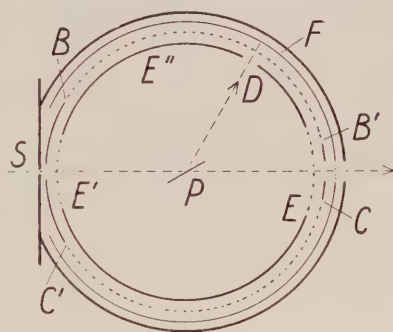


Fig. 24.

BRENTANO ³⁾ ersetzt die Ionisationskammer durch den photographischen Film (Fig. 24). Der Film wird um die zylindrische Kammer gelegt. Der Zylinder enthält zwei horizontale Schlitzes BB' und CC' , die gebeugte Strahlen unter den Beugungswinkeln $\vartheta = 12^\circ$ bis $\vartheta = 150^\circ$

¹⁾ T. M. HAHN, Phys. Rev. (2) 1931, Bd. 37, S. 475.

²⁾ W. H. BRAGG, Proc. Phys. Soc. Lond. 1921, Bd. 33, S. 222—224; E. A. OWEN and G. D. PRESTON, Proc. Phys. Soc. Lond. 1923, Bd. 35, S. 101—108 u. 1924, Bd. 36, S. 14—28.

³⁾ J. BRENTANO, Nature 1923, Bd. 112, S. 652—653; Proc. Phys. Soc. Lond. 1925, Bd. 37, S. 184—193.

hindurchlassen. Innerhalb der Kammerwand befindet sich ein zylindrischer Schirm, der eine schraubende Bewegung um 300° um seine Achse ausführen kann. Dieser Schirm (Fig. 24 u. 25 A) hat einen langen verstellbaren Spalt D längs seiner Erzeugenden und einen schraubenförmigen Schlitz $EE'E''$, dessen Ganghöhe dieselbe ist wie die der schraubenden Bewegung des Schirms. Dadurch bleibt der schräge Spalt gegenüber der Spaltblende S immer in gleicher Höhe, so daß der Primärstrahl stets durch ihn hindurchgehen kann.

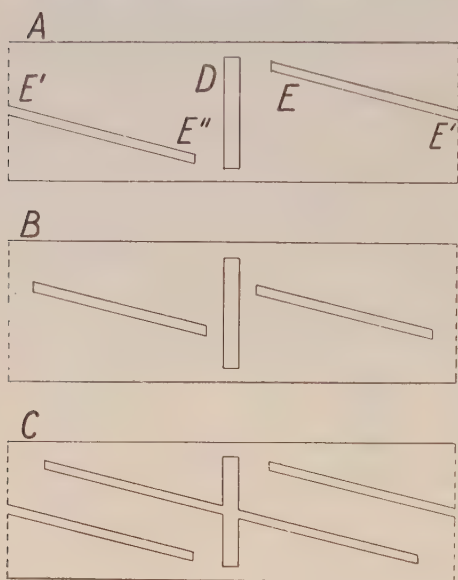


Fig. 25.

OTT¹⁾ erwähnt einen Schirm mit zwei kürzeren schrägen Spalten (Fig. 25B); durch den einen Spalt tritt der Primärstrahl in die Kammer, der andere gibt dem Strahl den Austritt frei. Diese Anordnung hat jedoch den Nachteil, daß nur die eine Filmhälfte belichtet wird. Um dem Primärstrahl einen Austritt zu ermöglichen und um Beugungskurven zu erhalten, die rechts und links vom Primärfleck liegen, muß man am BRENTANO'schen Schirm einen zweiten schrägen Spalt anbringen, der gegenüber dem ersten um 180° um die Zylinderachse gedreht erscheint (Fig. 25C). Das plattenförmige

Pulverpräparat wird gleichzeitig mit dem Schirm gedreht, so daß die Fokussierungsbedingung (s. S. 199 unten) erhalten bleibt, z. B. für den Fall $a=b$ mit der halben Winkelgeschwindigkeit des Schirms.

Der fokussierte, gebeugte Strahl erzeugt auf dem Film keine scharfe Abbildung der Blende, weil die Interferenzkurven aus zweierlei Gründen verbreitert werden: erstens ist das ebene Präparat nur eine Annäherung an die fokussierende Fläche mit kreisbogenförmigem Querschnitt in der Ebene des Strahlenbüschels, zweitens hat die Breite des Spalts D einen Einfluß auf die Linienschärfe.

Die Verbreiterung, die durch die Benutzung des ebenen Pulverpräparats verursacht wird, beträgt²⁾ in Bogen ausgedrückt

$$\omega = \frac{\varepsilon^2}{4} \operatorname{ctg} \beta,$$

¹⁾ H. OTT, Hdb. d. Experimentalphysik 1928, Bd. 7 II, S. 191.

²⁾ J. BRENTANO, Proc. Phys. Soc. Lond. 1925, Bd. 37, S. 188.

die Verbreiterung durch Verwendung eines Spalts D , der vom Präparat unter dem Winkel η gesehen wird,

$$\omega_1 = 2 \frac{a}{(a+b)} \varepsilon \eta \operatorname{ctg} \beta,$$

wobei ε der Öffnungswinkel des Primärstrahlbüschels ist ¹⁾.

Eine Verbreiterung der Beugungskurven wird außerdem durch die Dicke des Pulverpräparats bedingt ²⁾. Trotz aller Verbreiterungen sind jedoch die Kurven (bei einem Kammerdurchmesser von 100 mm, $\varepsilon = 4,2^\circ$, $\eta = 7,1^\circ$ und einer Spaltbreite von 0,07 mm) außerordentlich scharf. Als Fehlergrenze wird $1 \frac{0}{00}$ angegeben ¹⁾. Ein fast gleich großer Fehler ergab sich bei einer Aufnahme von Kristallpulver, dem NiO als Vergleichssubstanz beigemischt war ³⁾. Die Verwendung von Steinsalz als Vergleichssubstanz, die Berechnung der Gitterkonstanten nur aus Reflexen unter großen Beugungswinkeln, sowie die Zuordnung der Filmmitte dem Beugungswinkel $\vartheta = 180^\circ$ müßten jedoch eine sehr starke Herabsetzung der Fehlergrenze zur Folge haben.

Die Belichtungszeit betrug für eine normal starke Aufnahme von NiO bei Cu-Strahlung und 0,01 mm dickem Ni-Filter 62 mA-Stunden.

Zusammenfassung

Mehrere Präzisionsmethoden nach dem DEBYE-SCHERRER-Verfahren ermöglichen es, die Gitterkonstanten bis auf wenige Zehntausendstel genau zu bestimmen. Diese Methoden beruhen im allgemeinen auf der Berechnung der Gitterkonstanten aus den großen Glanzwinkeln und meist auf der Verwendung von Steinsalz als Vergleichssubstanz. Eine ähnliche Genauigkeit wird vom SEEMANN-Verfahren erreicht. Es ist sehr wahrscheinlich, daß eine Verfeinerung des BRAGG-BRENTANO-Verfahrens die Genauigkeit der Gitterkonstantenbestimmung noch wesentlich steigern würde.

Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität Berlin,
Juli 1932.

¹⁾ J. BRENTANO, Proc. Phys. Soc. Lond. 1925, Bd. 37, S. 188.

²⁾ E. A. OWEN u. G. D. PRESTON, Proc. Phys. Soc. Lond. 1924, Bd. 36, S. 16—19;
für $a = b$ berechnet; dabei wird $\beta = \vartheta_2$.

³⁾ J. BRENTANO u. W. E. DAWSON, Phil. Mag. (7) 1927, Bd. 3, S. 411—418.

Damnu-Vorschläge zu einer Prüfungsordnung für das höhere Lehramt

Von

A. Johnsen,

Berlin

I.

Im Jahre 1926 hatte ich dem „Deutschen Ausschuß für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht“ (Damnu) auf seinen Wunsch eine mineralogische Denkschrift unterbreitet, deren Inhalt sich der Damnu noch im gleichen Jahre weitgehend zu eigen machte. Der „Deutschen Mineralogischen Gesellschaft“ wurde darüber 1926 im 11. Band der „Fortschritte“ ausführlich berichtet. Es handelte sich dabei um die Rolle der Mineralogie im höheren Schulunterricht und in einer Prüfungsordnung für das höhere Lehramt. Seitdem hat sich der Damnu wiederholt mit der Hochschulausbildung der künftigen Studienräte und mit der Prüfungsordnung beschäftigt. Die Ursache davon lag teils in verschiedenen preußischen Reformen des höheren Schulunterrichts, teils in gewissen Strömungen, die die wissenschaftliche Hochschulausbildung der Studienräte zu gefährden schienen. Ein unmittelbarer Anlaß, sich von neuem mit der Prüfungsordnung zu befassen, lag darin, daß das „Preußische Ministerium für Wissenschaft usw.“ seit einigen Jahren plant, die Ordnung von 1917 zu ändern, wozu der Damnu rechtzeitig Stellung nehmen wollte; freilich ist mir aus allerbesten Quelle bekannt, daß das Ministerium hiermit schon deswegen zögert, weil die geplanten Reformen erhebliche Unkosten verursachen würden.

II.

Die vom Damnu geformten „Leitsätze“ für die Hochschulausbildung der Kandidaten des höheren Lehramts wurden nebst dem Entwurf einer Prüfungsordnung dem „Verband der Deutschen Hochschulen“

übermittelt, der alles gemeinschaftlich mit dem „Deutschen Philologenverband“ zu einer Denkschrift verarbeitete. Diese Denkschrift („Hochschulreform und wissenschaftliche Ausbildung der Philologen“¹⁾, Leipzig 1931), deren Bedeutung von manchen außerhalb des Damnu stehenden Kollegen überschätzt worden zu sein scheint, sollte keine endgültige Festlegung von Ansichten, sondern ausgesprochenermaßen eine Verhandlungsgrundlage schaffen. So fand denn am 20. März 1932 in Berlin eine Damnusitzung statt, die ausschließlich der Stellungnahme des Damnu zu jener Denkschrift diente; dabei wurde in mathematischer, chemischer und anderer Hinsicht, auch in mineralogischer, alles das geändert, was dem Damnu-Standpunkt nicht entsprach oder mißverständlich war.

III.

Die nunmehr endgültig formulierten Damnubeschlüsse vom 20. März d. J., die dem Preußischen Ministerium unterbreitet werden sollen, seien hier, sofern sie die Mineralogie betreffen, unter 1. und 2. in Anführungsstrichen mitgeteilt.

1. „Mineralogie ist Zusatzfach. Gefordert wird: Kenntnis des kristallisierten Zustandes; Kenntnis der häufigsten Mineralien und Gesteine nebst Vorkommen und Entstehung, besonders soweit sie technologisch oder geochemisch wichtig sind. Vertrautheit mit kristallographischen und petrographischen Methoden.“
2. „Von allen Chemie-Kandidaten wird mineralogisch gefordert: Kenntnis des kristallisierten Zustandes; Kenntnis der häufigsten Mineralien und Gesteine nebst Vorkommen und Entstehung, besonders soweit sie technologisch oder geochemisch wichtig sind. Hierzu ist notwendig und hinreichend der Nachweis des erfolgreichen Besuchs mineralogischer Übungen: dadurch werden in der mündlichen Prüfung mineralogische Fragen seitens des chemischen Prüfers überflüssig.“

In der oben erwähnten Denkschrift vom „Verband der Deutschen Hochschulen“ usw. findet sich auf S. 70 ein Satz, der die Chemie als Kernfach betrifft und den Nachweis fordert, daß der Prüfling eine nicht zu schwere, aber umfangreichere praktische Aufgabe aus der Chemie oder aus der Mineralogie selbständig bearbeitet hat. Auch dieser Satz, der dem Standpunkt des Damnu entspricht, wird von allen Mineralogen gutgeheißen werden. Dazu sei zum besseren Verständnis bemerkt, daß die in den neuen Vorschlägen eingeführten Ausdrücke „Kernfach“ und „Begleitfach“ etwa als primäres und se-

¹⁾ „Philologe“ stellt hier die alte (etwas irreführende) Bezeichnung für alle höheren Lehrer dar, nicht etwa speziell für Sprachlehrte.

kundäres Hauptfach umschrieben werden können. Praktisch ist das so gedacht, daß auch der Kandidat des Begleitfaches die Lehrberechtigung für die Oberstufe erhält; „Nebenfächer“ fallen fort.

Der unter 2. angeführte mineralogische Nachweis ist also nicht nur vom chemischen Kernfach-Kandidaten, sondern auch vom chemischen Begleitfach-Kandidaten zu erbringen; dadurch wird erreicht, daß jeder mit chemischer Fakultät ausgestattete Studienrat auch Mineralogie zu unterrichten vermag, was nach der bisherigen preußischen Prüfungsordnung von 1917 nicht der Fall ist¹⁾.

Übrigens hat jeder Prüfling mindestens ein Kernfach und zwei Begleitfächer anzumelden: auf besonderen, wohlbegründeten Antrag kann eines der beiden Begleitfächer u. U. durch ein sog. Zusatzfach ersetzt werden; ohne weiteres gilt das dann, wenn der Kandidat in dem betreffenden Zusatzfach, etwa Mineralogie, vorher promoviert hat. Nebenbei sei hier bemerkt, daß wie die Mineralogie so auch die Geologie ein Zusatzfach²⁾ darstellt, und wie die chemischen Prüflinge ein mineralogisches Attest beibringen müssen, so haben die geographischen und die biologischen Kandidaten einen geologischen und paläontologischen Nachweis zu liefern. Auf den höheren Schulen wird hiernach der mineralogische Unterricht im chemischen, der geologische und paläontologische Unterricht in der Geographie und in der Biologie verankert sein.

IV.

Was die wissenschaftlichen Bedingungen für die Ausstellung des mineralogischen Attestes betrifft, so werden sie außerhalb der eigentlichen Prüfungsordnung liegen und weitgehend von uns Mineralogen abhängen; wir werden uns dabei nach wie vor auf den Standpunkt stellen, daß die sog. Übungen ohne vorausgegangene Vorlesung und vielleicht auch ohne Exkursionen nicht erfolgreich sein können. In der Prüfung, die wir in unsrem Institut vor Ausstellung des Attestes vornehmen, müssen wir naturgemäß weniger fordern als im Zusatzfach. Wir werden daher auf eine besondere Vertrautheit mit kristallographischen und petrographischen Methoden verzichten, aber die übrigen Zusatzfach-Forderungen, wie oben unter 2. angeführt, für das Attest aufrechterhalten; natürlich wird sich niemand unter uns durch einen genauen Wortlaut völlig binden lassen. Eine Schwierigkeit, die schon bei der jetzigen Prüfungsordnung von

¹⁾ Hier wurde das mineralogische Attest nur für Chemie als Hauptfach gefordert, nicht für Chemie als Nebenfach, obgleich die betr. Kandidaten die chemische Lehrberechtigung für die Oberstufe erhielten! —

²⁾ Das bisherige kombinierte Zusatzfach „Mineralogie und Geologie“ fällt fort.

1917 besteht, ist noch zu beheben: Wer darf das Attest ausstellen? Ich schlage vor: der Vorsitzende des Prüfungsamtes darf nur die Atteste eines etatsmäßigen Mineralogieprofessors gelten lassen, der Mitglied dieses Prüfungsamtes ist. Wenn unser Attest von einem Kandidaten nachgesucht wird, der die nötigen Kollegien nicht bei uns selbst besucht hat, so können wir die uns vorgelegten Zeugnisse eines Fachgenossen für die Ausstellung unseres Attestes weitgehend gelten lassen.

Endlich besteht nach wie vor die Möglichkeit, daß ein Prüfling statt der chemischen Hausarbeit eine mineralogische anfertigt, die natürlich vom Mineralogen beurteilt wird.

Das in der erwähnten Denkschrift kurz behandelte Zwischenexamen ist vom Damnu nicht besonders erörtert worden. Hierüber und über anderes werden die künftigen, endgültigen Beratungen im Preußischen Ministerium entscheiden, an denen ich (formell unabhängig vom Damnu und von der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft) teilnehmen soll.

Berlin, den 25. Mai 1932,
Mineralog.-petrograf. Inst. d. Universität.

ZEISS

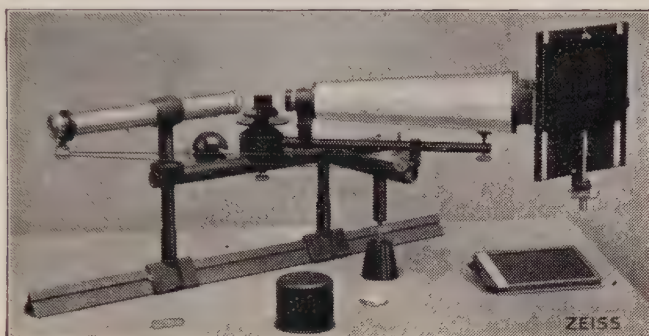
Spektrographen

in mineralogischen Instituten

geben wertvolle Aufschlüsse über die Zusammensetzung unbekannter erzführender Mineralien, deren chemische Analyse erheblich zeitraubender wäre, z. B. die des Mansfelder Kupferschiefers.

Siehe Chemie d. Erde 1930,5, S. 58—76, Metall u. Erz 1930,12, S. 316—319.

Druckschriften
kostenfrei von



Mineralien-Niederlage A. Jahn

Plauen i. V., Oberer Graben 9

Mineralien

Meteoriten, Gesteine, Fossilien,
Dünnschliffe, Edelsteine, geschl.,
Kristallmodelle aus Glas

Einzelstücke, Sammlungen, Seltenheiten, Erz-
lagerstättenbelegstücke, Mineralien u. Gesteine
für Laboratoriumszwecke, große Auswahl in
Craptolithen des vogtl. u. ostthüring. Silurs
(Zone 10—19)

Verzeichnisse über Neuerwerbungen kostenlos

THE AMERICAN MINERALOGIST

Journal of the Mineralogical Society of America

A monthly periodical devoted to articles on Mineralogy, crystallography and allied sciences. Back volumes may be purchased at \$ 3.00 per volume. Membership in the Society is \$ 3.00 per year which includes subscription price to the current volume. Volumes in recent years have contained from 500 to 600 pages. Inquiries should be sent to the treasurer,

Dr. Waldemar T. Schaller, U. S. Geological Survey, Washington, D. C., U. S. A.

Other officers of the Society for 1932 are: President, Dr. A. N. Winchell (University of Wisconsin); Vice-President, Dr. J. L. Gillson (E. I. DuPont de Nemours & Co., Wilmington, Delaware); Secretary, Dr. Frank R. Van Horn (Case School of Applied Science); Editor, Dr. W. F. Hunt (University of Michigan).

Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen

Herausgeberin: Schweiz. Mineralogische und Petrographische Gesellschaft.

Erscheinen halbjährlich in Heften mit 11—12 Druckbogen, unter Mitwirkung sämtlicher schweizerischer Mineralogen und Petrographen und der mineralogischen Hochschulinstitute und bringen Arbeiten aus dem Gesamtgebiet der Kristallographie, Mineralogie und Petrographie, mit besonderer Berücksichtigung der Alpen.

Bezugsbedingungen:

Für Mitglieder der Schweiz. Mineralogischen u. Petrographischen Gesellschaft gratis (Mitgliederbeitrag jährlich Fr. 20.—). Anmeldungen beim Kassier, Dr. **Fr. de Quervain**, Mineralogisches Institut der E. T. H., Sonneggstr. 5, Zürich 6.

Abonnement pro Jahr (2 Hefte) Fr. 25.—. Anmeldungen beim Verlag **A. G. Gebr. Leemann & Co., Zürich 2**. Ältere Bände, soweit Vorrat, ebenda erhältlich.

Süddeutsche Mineralienzentrale

Dipl.-Ing. W. Maucher

München 13 (Bayern) Schellingstraße 73

Mineralien: Gesteine, Versteinerungen

Lagerstättenmaterial

Analysenmaterial

Schmucksteine: roh und geschliffen

Detektormineralien: im Großen und
einzeln. Woodmetall.

**Geologenhämmer, Meißel, Härteskalen, Strichtafeln, Anlege-
goniometer, Lötrohrbedarfsartikel**

Ansichtssendungen franko gegen franko

Voigt & Hochgesang • Göttingen

Inh. A. Rümenapf

Fabrikation von Dünnschliffen

von

Gesteinen: Preis im Durchschnitt RM. 1.80. Nur für besonders schwierig
zu bearbeitendes Material tritt ein geringer Preisaufschlag ein.
Unerreichte Qualität, Dünne 0,02 mm

Kristalle: Genau orientierte Schliffe. Preis RM. 2.50 bis 3.—

Kristallpräparate

für sämtliche mineralogischen Untersuchungen in tadelloser
Ausführung zu angemessenen Preisen

Schneide- u. Schleifmaschinen

für die Herstellung von Dünnschliffen

Sämtliche Schleif- und Präparier-Utensilien

Anschliffe von Erzen

Anfertigung von Erzanschliffen von eingesandtem Material
von je RM. 1.70 ab

Neu!

Unterrichts- u. Lehrsammlungen von Erzanschliffen

zusammengestellt und mit Beschreibungen versehen von **Prof. Dr. P. Ramdohr**, dem Mitverfasser des „Lehrbuches der Erzmikroskopie“

Die große Sammlung umfaßt

100 Erzanschliffe und setzt sich zusammen aus:

1. der Grundsammlung von 30 Erzanschliffen,
2. der I. Ergänzungssammlung von 39 Erzanschliffen,
3. der II. Ergänzungssammlung von 31 Erzanschliffen.

Jede Sammlung kann einzeln bezogen werden. Einzelne Anschliffe werden nur abgegeben, solange hinreichend Material für die kompletten Sammlungen zur Verfügung steht.

Die Erze sind vorwiegend technisch wichtigen Lagerstätten entnommen. Geordnet nach dem genannten Lehrbuch stellen sie in ihrer Gesamtheit einen Ueberblick über das System der Erzlagerstätten dar und können auf Wunsch auch nach diesem lagerstättenkundlichen Prinzip geordnet werden.

*Inhaltsverzeichnisse stehen Interessenten
auf Anfrage zur Verfügung.*

Preise der Sammlungen

einschließlich etikettierter Objektträger, Plastolin bzw. Wachs zum Montieren der Anschliffe, in Pappkarton mit Deckel:

- | | |
|---------------------------|----------|
| 1. Grundsammlung | RM. 85.— |
| 2. I. Ergänzungssammlung | „ 96.50 |
| 3. II. Ergänzungssammlung | „ 88.50 |
| 4. Die komplette Sammlung | „ 257.— |

Damit beim Montieren der Anschliffe Auflagefläche und polierte Fläche genau parallel orientiert werden, empfehlen wir die Benutzung der Handpresse von E. Leitz, Wetzlar, die wir zum Originalpreis von RM. 18.— mit der Sammlung liefern.

Dr. F. Krantz - Bonn a. Rhein

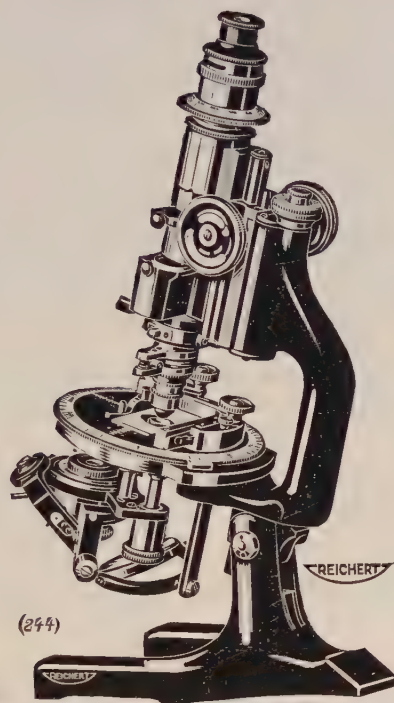
Gegr. 1833

Rheinisches Mineralienkontor

Gegr. 1833

REICHERT

**NUR BESTE INSTRUMENTE
FÖRDERN DEN FORTSCHRITT**



**MINERALOGISCHE MIKROSKOPE
ERZMIKROSKOPE
METALLMIKROSKOPE
DETEKTOSKOPE
PERLOMETER**

OPTISCHE WERKE

C. REICHERT

WIEN VIII, BENNOGASSE



Die Mineralien=Niederlage
der Staatl. Sächs. Bergakademie
Freiberg i. Sa., Braunhausgasse 14
im Mineralogisch=Geologischen Institut der Bergakademie

empfiehlt sich zur Lieferung von:

Mineralien, Gesteinen, Erzen und Versteinerungen in ganzen Sammlungen und Einzelstücken,
sowie von sämtl. mineralogischen und geologischen Ausrüstungs= u. Gebrauchs=gegenständen

Ansichtssendungen werden auf Wunsch gern zusammengestellt!

Ankauf von Mineralien und ganzen Sammlungen!
Tauschverkehr!

C. W. Kessler Söhne, Idar

Hauptstraße 140

Edelsteinschleiferei und -Handlung

Mineralien Rohstoff - Import

Bankkonto:

Deutsche Bank und Diskontogesellschaft Idar

Postscheck: 14948 Frankfurt a. Main

Fernruf 184 Amt Oberstein-Idar

Telegr.: Steinkessler Idar

Vertretungen:

NEW YORK + PARIS + KOPENHAGEN

BARCELONA

Zur Saison:

KARLSBAD + MARIENBAD + BAD GASTEIN

Bronz. Medaille Düsseldorf 1902 + Goldene Medaille Turin 1911

Goldene Medaille Trier 1925 und Höchste Auszeichnungen

Oscar Ahlberndt, Berlin O 27

Tel.: Alexander 1705 **Spezialmaschinenfabrik**

Krautstraße 52

Inhaber: A. Schütt, Ing.

Sämtl. Arbeitsmaschinen zur Herstellung von Präzisionsoptik.

**Schneide-, Schleif- und Poliermaschinen zur
Herstellung von**

Anschliffen und Dünnschliffen

**für Mikro- u. mikrophotographische Unter-
suchungen.**

Diamantpräparierte Schneidscheiben.

An die Mitglieder der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft

Während der Breslauer Tagung wurde die Schaffung eines

Archivs

angeregt. Es soll ein vollständiges Exemplar der
„Fortschritte der Mineralogie und Kristallographie“
enthalten, ferner alle von der Gesellschaft ausgehenden Druckschriften, die
Einladungen zu Hauptversammlungen usw., sowie eine

Sammlung von Bildern der Mitglieder mit Namenszug.

Das Archiv wird von dem jeweiligen Schatzmeister in Verwahrung genommen
und auf dem Laufenden gehalten werden.

* Es ergeht auch an Sie die Bitte, uns ein Bild (womöglich Kabinettformat)
mit Ihrer eigenhändigen Unterschrift und der Jahreszahl der Bildan-
fertigung zu senden.

* Darüber hinaus sollen die Bilder und Autogramme aller namhaften Mineralogen
gesammelt werden und zwar sowohl lebender wie verstorbener. Vielleicht
wollen Sie uns solche freundlichst dedizieren.

Der Vorstand der Deutschen Mineralog. Gesellschaft

i. A.: Thost

Alle Zusendungen

sind an den Schatzmeister, Herrn Dr. Thost, Berlin W 35, Schöneberger Ufer 12 a, zu richten.

Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie

Herausgegeben im Auftrag der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft

von

Prof. Dr. G. Linck, Jena (Bd. 1—6)

Prof. Dr. A. Johnsen, Berlin (Bd. 7—10), Prof. Dr. W. Eitel,
Berlin (ab Bd. 10)

Band 1.	Mit 53 Abbildungen im Text.	IV, 290 S.	gr. 8° 1911	RMk. 9.—
Band 2.	Mit 23 Abbildungen im Text.	IV, 304 S.	gr. 8° 1912	RMk. 10.50
Band 3.	Mit 26 Abbildungen im Text.	IV, 320 S.	gr. 8° 1913	RMk. 10.—
Band 4.	Mit 23 Abbildungen im Text.	IV, 384 S.	gr. 8° 1914	RMk. 12.50
Band 5.	Mit 43 Abbildungen im Text.	III, 324 S.	gr. 8° 1916	RMk. 11.50
Band 6.	Mit 46 Abbildungen im Text.	IV, 245 S.	gr. 8° 1920	RMk. 8.—
Band 7.	Mit 23 Abbildungen im Text.	XI, 480 S.	gr. 8° 1922	RMk. 12.50
Band 8.	Mit 33 Abbildungen im Text.	III, 234 S.	gr. 8° 1923	RMk. 8.—
Band 9.	Mit 17 Abbildungen im Text.	III, 411 S.	gr. 8° 1924	RMk. 14.—
Band 10.	Mit 69 Abbildungen im Text.	III, 310 S.	gr. 8° 1925	RMk. 14.—
Band 11.	Mit 72 Abbildungen im Text und auf 1 Tafel.	III, 358 S.	gr. 8° 1927	RMk. 17.—
Band 12.	Mit 66 Abbildungen im Text und 1 Porträttafel (G. Linck).	IV, 336 S.	gr. 8° 1927	RMk. 20.—
Band 13.	Mit 103 Abbildungen im Text.	IV, 320 S.	gr. 8° 1929	RMk. 20.—
Band 14.	Teil 1.	IV, 74 S.	gr. 8° 1929	RMk. 5.—
Band 14.	Teil 2. Mit 37 Abbildungen und 6 Tabellen.	IV, 217 S.	gr. 8° 1930	RMk. 15.—
Band 15.	Teil 1. Mit 1 Abbildung im Text.	III, 72 S.	gr. 8° 1931	RMk. 5.—
Band 15.	Teil 2. Mit 7 Abbildungen im Text.	IV, 140 S.	gr. 8° 1931	RMk. 10.—
Band 16.	Teil 1. Mit 29 Abbildungen im Text.	IV, 146 S.	gr. 8° 1931	RMk. 10.—

Mitglieder der D. M. G. erhalten die Bände zu Vorzugspreisen.

Leitz

POLARISATIONS-MIKROSKOPE



Ausrüstung für die
Universal-Drehtisch-Methode

Projektions- und Demonstrationsapparate
Integrationstische für das Shand'sche Analysenverfahren
Spaltmikrophotometer

Fordern Sie kostenlos unsere Druckschriften

Ernst Leitz, Wetzlar

Seifert Röntgenapparate für die Mineralogie

Spektroanalyt

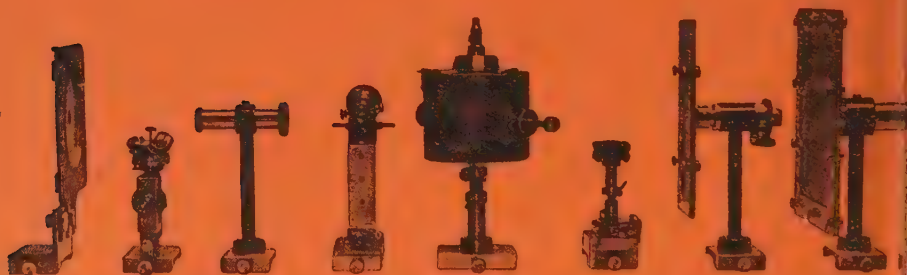
der Spezialröntgenapparat für Feinstruktur-
untersuchungen mit hochspannungs- und
strahlensicheren Röntgenröhren

Isovolt Isolux

Die Röntgenapparate für Gleichspannung
bis 400 KV

Aufnahmegeräte

für Strukturaufnahmen nach Laue, Debye-
Scherrer, Sachs-Weerts, Schiebold und
Kästner



Rich. Seifert & Co

Hamburg 13

Älteste Spezialfabrik für Röntgenapparate



Beigefügt eine Beilage vom Seemann-Laboratorium, Freiburg i. Br.,
Rheinstr. 4.

Mitgliederverzeichnis

der

Deutschen Mineralogischen Gesellschaft

nach dem Stande vom 25. Juli 1932

(Institute, Landesanstalten, Büchereien sind unter dem Namen der Stadt aufgeführt.)



A. Ehrenmitglieder

1. **v. Laue, M.**, Dr., Prof., **Zehlendorf** (Wannseebahn), Albertinenstraße 17.
2. **Brögger, W. C.**, Dr., Professor, **Baekkelaget** b. Oslo (Norwegen).
3. **Miers, Sir A. H.**, Dr., Professor, 18, Aberdare Gardens, West Hampstead, **London N. W. 6.**
4. **Spencer, L. J.**, Dr., British Museum-Natural History, Mineral Dept., Cromwell Road, South Kensington, **London S. W. 7.**
5. **Sederholm, J. J.**, Dr., Professor, Direktor d. Geol. Landesanstalt, **Helsingfors**, Finland, Boulevardsgatan 29.
6. **Linck, G.**, Dr., Dr. rer. pol. h. c., Professor, Geh. Hofrat, **Jena**, Mineralog. Institut d. Universität.
7. **Brauns, R.**, Dr., Prof., Geh. Bergrat, **Bonn** a. Rhein, Endenicher-Allee 50.

B. Mitglieder

1. **Aachen** (Rhld.), Bibliothek der Technischen Hochschule, Wüllnerstraße.
2. **Aachen**, Mineralogisches Institut d. Techn. Hochschule, Wüllnerstraße 2.
3. **Adolf, Gustav**, Dr., Betriebsleiter, **Sondershausen**, Petersenschacht.

4. **Ahlfeld, F.**, Dr., Bergassessor, Privatdozent **Marburg**, Roserstraße 24¹/₂.
5. **Ahrens, Wilhelm**, Dr., Geolog. Landesanstalt, **Berlin N 4**, Invalidenstraße 44.
6. **Aminoff, G.**, Dr., Professor, **Stockholm** 50 (Schweden), Riksmuseets mineralogiska avdelning.
7. **Amsterdam**, Geologisch Instituut der Universiteit. Nieuwe Achtergracht 125.
8. **Andrée, K.**, Dr., Professor, **Königsberg** i. Pr., Brahmsstr. 19 I. (G.)
9. **Aranowski, Karl**, Lehrer, **Berlin-Neukölln**, Treptowerstr. 95/96.
10. **Artt, H.**, Dr., Ministerialrat, **Berlin-Lichterfelde-Ost**, Berlinerstraße 43.
11. **Arschinoff** (Aršinov), **V.**, Professor, **Moskau**, B. Institut f. angew. Mineralogie u. Petrographie, Ordinka 32.
12. **Aulich**, Prof. Dr., Studienrat a. d. Staatl. Hüttenschule, **Duisburg**, Prinz Albrechtstr. 33.
13. **Backlund, Helge**, Dr., Prof., **Upsala** (Schweden), Geol. Inst. (G.)
14. **Baier, Ernst**, Dr. phil., Assistent am mineralog. Institut der techn. Hochschule, **Berlin-Charlottenburg**, Bismarckstr. 25.
15. **Banerji, A. K.**, B. Sc., Assistant-Superintendent, Geolog. Survey of India, **Calcutta** (Indien).
16. **Bär, Adolf**, Dr., Oberst a. D., **Asch** C. S. R.
17. **Bär, Otto**, Dr., in Fa. Dr. C. Otto & Co., **Bochum**, Castropersstraße 92.
18. **Barry, Hans**, Bergrat, **Lautenthal** (Harz).
19. **Barth, T.**, Dr. phil., **Washington D. C.**, U. S. A., 2801 Upton Street, Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington.
20. **Basel**, Mineralogisch-petrographisches Institut. Münsterplatz 6/7.
21. **Becker, Hans**, Dr. phil., Privatdozent, Assistent am geolog. Institut der Universität, **Leipzig C 1**, Emilienstr. 28 III.
22. **Becker, Walter**, Dr., **Hamburg** 26, Chapeaurougeweg 39 II.
23. **Bederke, E.**, Dr., Professor, Geolog. Institut der Universität, **Breslau** 1, Schuhbrücke 38/39.
24. **Beeckmann, Wilhelm**, Bergassessor, **Essen**, Friedrichstr. 2.
25. **Beger, P. J.**, Dr., Professor, Mineralog. Institut d. Techn. Hochschule, **Hannover**, Callinstr. 12.
26. **Behrend, Fritz**, Dr., Professor, **Berlin-Grunewald**, Charlottenbrunnerstr. 2.
27. **Belowsky, M.**, Dr., Professor, **Berlin N 4**, Invalidenstraße 43. (G.)
28. **Bendig, Maximiliane**, Dr. phil., **Berlin SW 61**, Yorkstr. 19.
29. **Berek, Max**, Dr., Professor, **Wetzlar** a. d. Lahn, Wuhlgraben 5.
30. **Berg, Georg**, Dr., Professor, Bergrat, **Berlin N 4**, Invalidenstraße 44.
31. **Berger, Willi**, **Magdeburg**, Breiter Weg 62/63.

32. **Bergmann, W.**, Dr.-Ing. e. h., Ilse der Hütte, Abtlg. Bergbau, **Groß-Ilse** (Hannover).
33. **Berlin N 4**, Mineralog.-petrogr. Institut der Universität, Invalidenstr. 43.
34. **Berlin N 4**, Preussische geolog. Landesanstalt, Invalidenstr. 44.
35. **Berlin-Dahlem**, Kaiser Wilhelm Institut f. Silikatforschung, Faradayweg 16.
36. **Berlin-Charlottenburg**, Institut f. Mineralogie und Petrographie der Techn. Hochschule, Berlinerstr. 170.
37. **Berlin-Charlottenburg**, Metallhüttenmänn. Institut der Techn. Hochschule (Prof. Guertler), Hardenbergstr. 35.
38. **Berlin-Dahlem**, Staatl. Materialprüfungsamt, Unter d. Eichen 87.
39. **Bern** (Schweiz), Mineralog.-petrogr. Institut d. Univ., Bollwerk 10.
40. **Bernauer, F.**, Dr., Professor, Bergbauabtlg. d. Techn. Hochschule, **Charlottenburg**, Berlinerstr. 170.
41. **Biehl, Karl**, Dr., **Neuwied** (Rhein), Zementfabrik.
42. **Bindrich, Johannes**, Dr., **Frankenberg** i. Sachsen.
43. **Blanck, E.**, Dr., Prof., **Göttingen**, Wilh. Weberstr. 40. (G.)
44. **Bleibtren, Karl**, Dr., **Oberkassel** (Siegkreis), Schulstraße. 20.
45. **Blittersdorf, Hellmut**, Dr., **Greifswald**, Mineralog. Inst. d. Univ.
46. **Boldirew, Anatoli K.**, Professor, **Leningrad**, Berginstitut 16.
47. **Bonn**, Geol.-paläontolog. Institut der Universität.
48. **Bonn**, Mineralog.-petrogr. Institut der Universität, Poppelsdorfer Schloß.
49. **Born, Axel**, Prof. Dr., **Charlottenburg**, Bergbauabteilung der Techn. Hochschule, Berlinerstr. 170.
50. **Bosscha, J.**, Dr. phil., **Clarens-Montreux** (Schweiz), Villa Du-bochet 21.
51. **Bowman, H. L.**, Prof. Dr., Magdalen College, **Oxford** (England), 8 Fyfield Road.
52. **van den Brand, M. J.**, Dr., Assistent Staatl. Landwirtschaftl. Versuchsanstalt (Algemeen Proefstation voor den Landbouw) am Institut für Bodenkunde, **Buitenzorg (Java)**, Boeboelak 39 A.
53. **Brendler, W.**, Dr., **Hamburg 23**, Marienthalerstr. 142. (G.)
54. **Breslau**, Mineralogisch-petrographisch. Institut d. Univ., Schuh-brücke 38/39.
55. **Brinkmann, Roland**, Dr., Professor, **Göttingen**, Geologisches Institut d. Univ.
56. **Brinkmann, Margarete**, Dr., **Göttingen**, Goldgraben 14.
57. **Broch, Olaf Anton**, Universitätsstipendiat, **Oslo**, Gabelsgat. 48.
58. **Bücking, H.**, Dr., Professor, Geh. Bergrat, **Heidelberg**, Ziegel-häuser Landstr. 39. (G.)
59. **Budapest VIII**, Magyar Nemzeti Museum, Mineralog. Abtg., Muzeum-Körut 16.

60. **Bujor**, Jonescu, Prof. Dr., Universität Czernowitz (Rumänien).
61. **Burri, Conrad**, Dr. phil., Privatdozent, **Zürich 6**, Sonneggstr. 5.
62. **Buschendorf, Fritz**, Dr.-Ing., Privatdozent, Mineral. Inst. d. Bergakad., **Clausthal** (Harz), Privat: **Clausthal-Zellerfeld II**, Bernhardtstr. 5, **Clausthal-Zellerfeld I**, Bergakademie.
63. **Busz, K. E.**, Dr., **Bonn a. Rh.**, Schumannstr. 66.
64. **Calsow, Georg**, Dr. phil., **Jena**, Mineralog. Institut, Schillerstraße 12.
65. **Canaval, Rich.**, Dr., Hofrat, Berghauptmann, **Klagenfurt** in Kärnten, St. Ruprechtstr. 8. (G.)
66. **Cardoso, Gabriel Martin**, Professor, **Madrid** (Spanien), Marqués de Urquijo 3.
67. **Chemnitz i. Sa.**, Städt. Naturwissenschaftl. Sammlung im städt. Museum.
68. **Cheng, Chen-Wen**, c/o. Tay Miang Huat & Co., 16 Upper Circular Road, **Singapore**.
69. **Christa, Em.**, Dr., Professor, **Würzburg**, Rotkreuzstr. 9.
70. ***Chu, Chia-hua**, Dr., Geologe, **Kanton** (China), Universität.
71. **Chudoba, Karl**, Dr. phil., Privatdozent am mineralog.-petrogr. Institut der Universität, **Bonn**, Poppelsdorfer Schloß.
72. **Cissarz, Arnold**, Dr., Professor, **Freiburg i. Br.**, Mineralog. Institut der Universität, Bertholdstr. 17.
73. **Correns, Carl W.**, Dr., Professor, **Rostock**, Mineralog. geolog. Institut, Wismarschestr. 8.
74. **Cöthen** (Anhalt), Städtisches Friedrichs-Polytechnikum (G.).
75. **Czygan, Kurt**, Oberstudiendirektor, **Leipzig-R.**, Möbiusstr. 13.
76. **Dannecker, Eugen**, Dr. phil., **Stockach** in Baden, unbekannt verzogen.
77. **Darmstadt**, Hessische geolog. Landesanstalt, Paradeplatz 3.
78. **Darmstadt**, Institut f. Geologie u. techn. Gesteinskunde d. techn. Hochschule.
79. **Deubel, Fritz**, Dr., **Jena**, Kieshügel 5.
80. **Deutsche Chemische Gesellschaft**, Redaktion des Gmelin-Handbuches, **Berlin W 10**, Sigismundstr. 4IV.
81. **Deutsche Gesellschaft für Metallkunde** im Verein deutscher Ingenieure, **Berlin NW 7**, Friedr. Ebertstr. 27.
82. **Diehl, Otto**, Dr., Professor, Bergrat, Landesgeologe, **Darmstadt**, Inselstraße 44.
83. **Dittler, Emil**, Dr., Professor, Mineralog. Institut d. Universität, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3.
84. **Dorn, Paul**, Dr. phil., Professor, **Erlangen**, Mineral. Inst. der Universität.
85. **Drescher, Friedr. Karl**, Dr. phil., Professor, **Clausthal** (Harz), Bergakademie.

86. **Dresden**, Bibliothek der Sächs. Technischen Hochschule,
Dresden A 24, Bismarckplatz 18I.
87. **Dresden**, Mineralog.-geolog. Museum, Zwinger.
88. **Easton, N. Wing**, Dr. T. W. h. c., Bergingenieur, **Rijswijk** (Z. H.)
Holland, Geestbrugweg 50.
89. **v. Eckermann, H.**, Dr., Berg- u. Hütteningenieur, Privatdozent
a. d. Universität Stockholm, **Edeby** b. Sparreholm, Schweden.
90. **Edelmann, F.**, Dipl.-Ing., Direktor der Mineralienniederlage
der Bergakademie, **Freiberg** (Sa.), Brennhausgasse 14.
91. **Edelman, Fr. C. H.**, Konservator am geol. Inst. d. Universität
Amsterdam, Copernicusstraat 19.
92. **Ehrenberg, Hans**, Dr.-Ing., Bergassessor, Privatdoz. am Mineral.
Institut d. Techn. Hochschule, **Aachen**, Wüllnerstr. 2.
93. **Eissner, Willy**, Dr. phil., Chemiker-Mineraloge b. d. I. G. Farben-
industrie A. G., Werk Oppau, **Ludwigshafen a. Rh.**, Fichte-
straße 18.
94. **Eitel, Wilhelm**, Dr., Professor, **Berlin-Dahlem**, Faradayweg 16.
Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung.
95. **Endell, Kurd**, Dr., Professor, **Berlin-Steglitz**, Breite Str. 3.
96. **Eppler, W. Fr.**, Dr. phil., **Idar** (Nahe), p. Adr. Heinrich Menn.
97. **Erdmannsdörffer, O. H.**, Dr., Professor, Mineralog. Institut,
Heidelberg, Hauptstr. 47/51, privat: Erwin Rhodestr. 10. (G.)
98. **Erlangen**, Mineralog. u. geolog. Institut d. Universität.
99. **Ernst, Emil**, Dr., Professor, **Münster i. W.**, Kanonengraben 17
bzw. Mineralog. Institut d. Universität.
100. **Faber, Walter**, Dr., Assistent am Mineralog. Institut d. Berg-
akademie, **Freiberg i. S.**,
101. **Fackert, Walter**, Dr., Vorsteher der Versuchsanstalt der Rassel-
steiner Eisenwerksgesellschaft A.-G. Neuwied, **Neuwied**, Nagel-
gasse 12.
102. **Fahrenhorst, J.**, Dr., Chemiker, **Ludwigshafen a. Rhein** IV,
Wöhlerstr. 25.
103. **Fellinger, Robert**, Dr., **Berlin-Wilmersdorf**, Aschaffenburg-
straße 5.
104. **Feng, Hsükuang**, Adresse z. Zt. unbekannt.
105. **Fischer, Georg**, Dr., Geologe an der Preuß. Geolog. Landes-
anstalt. Privat: **Berlin-Wittenau**, Oranienburgerstr. 249.
106. **Fischer, Walther**, Dr.-Ing., Kustos am Staatl. Museum f.
Mineralog., **Dresden A.**, Fürstenstr. 89II.
107. **Frankfurt a. M.**, Mineralog. Institut der Universität, Robert
Mayerstr. 6.
108. **Frebald, Georg**, Dr. phil. et rer. nat., Professor, **Hannover**,
Heinrich Heinstr. 15I.

109. **Freiberg** i. Sa., Mineralog. Institut der Bergakademie, Brennhaugasse 14.
110. **Freiburg** i. Breisg., Mineralog. Institut d. Universität, Bertholdstraße 17.
111. **Freiburg** (Schweiz), Mineralog. Institut d. Universität.
112. **Friedrich, Othmar**, Ing., Assistent a. d. Techn. Hochschule, **Graz III**, Beethovenstr. 7 I.
113. **Fromme, J.**, Dr., Apotheker u. Nahrungsmittelchemiker, **Magdeburg**, Adelheidring 17.
114. **Fuess, R.**, Optische Werkstätte, **Berlin-Steglitz**, Düntherstr. 8.
115. **Fülöpp, Bela**, Dr., Senator, **Timisoara-Temesvár**, Bulv. Regina Maria 5. Ungarn.
116. **Gareiss, A.**, Dr., Professor am Realgymnasium, **Karlsbad** (C. S. R.). (G.)
117. **Geller, Adolf**, Dr., Privatdozent, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44. Geolog. Landesanstalt.
118. **Geophysical Laboratory**, Carnegie Institut., **Washington D. C.** 2801 Upton Street.
119. **Gerber, Eduard**, Dr., Naturhist. Museum. **Bern** (Schweiz).
120. **Gießen**, Hessen, Mineralog. Institut der Universität.
121. **Gille, Fritz**, Dr., **Düsseldorf**, Posenerstr. 34.
122. **Gisolf, W. F.**, Dr., **Bandoeng**, Java, (Niederl. Indien), Engelbert van Bevervoordeweg 24.
123. **Gisser, Anton**, Dr., **München 7**, Zweibrückenstr. 37 I.
124. **Gliszczynski, Siegfried**, von. stud., **Berlin N 58**, Rhinowerstraße 2 II.
125. **Goebel, Luise**, Dr., **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43. Mineral. Inst.
126. **Götte, August**, Dr., Dipl.-Bergingenieur, **Clausthal** (Harz), Min. Inst. d. Bergakademie.
127. **Göttingen**, Universitätsbibliothek.
128. **Göttingen**, Mineralog. Institut der Universität.
129. **v. Goetze, Margarete**, Studienrätin, **Altona**, Bahrenfelder Kirchenweg 65.
130. ***Goldschmidt, V.**, Dr., Professor, Geh. Hofrat, **Heidelberg**, Gaisbergstraße 9. (G.)
131. **Goldschmidt, V. M.**, Dr., Professor, **Göttingen**, Wagnerstr. 8.
132. **Goßner, B.**, Dr., Prof., **München**, Mineralog. Institut d. Univ. Neuhauserstr. 51.
133. **Gottfried, Karl**, Dr., Professor, **Heidelberg**, Mineralog. Institut der Universität Hauptstr. 47/51.
134. **Graz**, Geolog. Institut der Techn. Hochschule.
135. **Graz**, Mineralog.-petrogr. Institut d. Universität (Prof. Dr. Frz. Angel), Universitätsplatz 2 II.
136. **Greifswald**, Mineralog. Institut der Universität.

137. **Greiser, Georg**, Bergwerksbesitzer, **Hannover**, Fischerstr. 1.
138. **Grenng, R.**, Dr., Professor, Technische Hochschule, **Wien IV**, Karlsplatz.
139. **Grimm, H. G.**, Dr., Professor, **Heidelberg**, Beethovenstr. 5.
140. **Groß, Rudolf**, Dr., Professor, Mineralog. Institut der Universität, **Greifswald**.
141. **Grosser, Gottfried**, Assistent, **Dresden A 24**, Bismarckplatz 18, Mineralog. Inst. Techn. Hochsch.
142. **Grundey, Max**, Oberlandmesser u. Leiter des Oberschles. Museums, **Gleiwitz**, Oberschlesien.
143. **Gruner, John W.**, Dr., Professor, University of Minnesota Dept. of Geology & Mineralogy, **Minneapolis** (Minn.), U. S. A.
144. **Grutterink, J. A.**, Dr., Professor, Laboratorium voor Delfstofkunde, Technische Hoogeschool te **Delft** (Holland), auch: van Bleiswijkstraat 139.
145. **Haas, J. O.**, Dr., Geologe, **Ouégoa**, Nouvelle Calédonie, France.
146. **Habenicht**, Dr., Rechtsanwalt, **Plauen i. Vgtl.**, Neustadtplatz.
147. **Hadding, A.**, Dr., Dozent, **Lund** (Schweden), Mineralog.-geol. Institut.
148. **Hahn, Alexander**, **Idar a. d. Nahe**, Brunnengasse 1. (G.)
149. **Haitinger, Ludwig**, em. Direktor der österr. Gasglühlicht- und Elektrizitäts-Gesellschaft, **Weidling**, Nieder-Österreich, Villa Brunnenpark, Brandmayergasse 2. (G.)
150. **Halle a. S.**, Mineralog. Institut der Universität, Domstr. 5.
151. **Haller, Hans**, Dr. phil., Chemiker a. d. Preuß. geol. Landesanstalt, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44.
152. **Hamberg, Axel**, Dr., Professor, **Djursholm** bei Stockholm (Schweden).
153. **Hamburg**, Mineralog.-petrograph. Institut der Universität, **Hamburg 36**, Esplanade 1c.
154. **Hamburg**, Staats- und Universitätsbibliothek, **Hamburg 1**, Speersort.
155. **Hannover**, Geolog. u. mineralog. Institut der Technischen Hochschule.
156. **Harada, Zyunpei**, Prof. Dr., Dept. of Mineralogy and Geology, Hokkaido Imp. University, **Sapporo**, Japan.
157. **Harrassowitz, H.**, Dr., Prof., **Gießen**, Ludwigstr. 30.
158. **Härtel, F.**, Dr., Geologe, **Leipzig**, Talstr. 35, Geolog. Landesanstalt.
159. **Hartwig, Wilhelm**, Dr., Assistent am Mineralog.-petrogr. Inst. der Univ., **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43.
160. **Heide, Fritz**, Dr., Professor, **Jena**, Mineralog. Institut der Universität.
161. **Heidelberg**, Mineralog. Institut d. Universität, Hauptstr. 47/51.

162. **Heim, Fritz**, Dr., Regierungsgeologe, **Großhesselohe** bei München, Bahnhofstraße 2.
163. **Heineck, F.**, Dr., Oberstudiendirektor, **Wiesbaden**, Amselberg 2. (G.)
164. **Hellmers, Hans**, Dr., **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44, Geol. Landesanstalt.
165. **Henglein, M.**, Dr., Professor, **Karlsruhe i. B.**, Kaiserallee 16.
166. **Hentsch, Johannes**, Studienrat, **Leipzig S 3**, Fockestr. 35 I.
167. **Hentschel, Hans**, Dr., **Leipzig C 1**, Institut für Mineralogie u. Petrographie d. Universität, Talstr. 38.
168. **Hertinger, Erich**, Dr., **Berlin NW 87**, Klopstockstr. 51.
169. **Herre, Rudolf**, Dr. phil., Hilfsassistent, **Jena**, Riedstr. 1 III.
170. **Herzenberg, R.**, Dr., **Oruro** (Bolivia), c./o. M. Hochschild & Cia. Casilla 23.
171. **Hesemann, Julius**, Dr.-Ing., Bergingenieur, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44.
172. **Heydrich, Karl**, Dr., Studienrat, **Hildburghausen**, Friedrichstraße 8. (G.)
173. **Heykes, C.**, Dr., **Berlin N 4**, Invalidenstr. 44, Geol. Landesanstalt.
174. **Hibsch, J. E.**, Dr. rer. techn. h. c. Professor, **Wien XVIII 1**, Erndtgasse 26.
175. **Hiller, Joh. E.**, stud. rer. mont., **Berlin N 58**, Schönhauser Allee 130. 2. Aufg.
176. **Himmel, Hans**, Dr., Privatdozent, Assistent am mineralog. Institut von V. Goldschmidt, **Heidelberg**, Hauptstr. 48.
177. **Himmelbauer, A.**, Dr., Professor, Mineralog.-petrogr. Institut der Universität, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3. (G.)
178. **Himmelbauer, Friedrich**, Geologe, **München**, unbekannt verzogen.
179. **Hirsch, Willy**, Dipl.-Bergingenieur, **München**, Fürstenstr. 22 I.
180. **Hirshi, H.**, Dr. phil., **Spiez** (Schweiz).
181. **Hlawatsch, Karl**, Dr., **Wien XIII 5**, Linzer Straße 456. (G.)
182. **Hoffmann, M. K.**, Dr. phil., Fabrikdirektor a. D., **Freiberg i. Sa.**, Winklerstr. 2.
183. **Hofmann, Friedrich**, Studienrat, **Altenburg** (Thür.), Fabrikstraße 38.
184. **Hofmann, Wilhelm**, Dr., **Leipzig**, Min. Inst. d. Univ., Talstr. 38 II.
185. **Hohenheim** (Württemberg), Landwirtschaftliche Hochschule, Bibliothek.
186. **Holetz, Friedrich**, Dr., Professor, Deutsche Handelsakademie, **Aussig a. d. Elbe** (Č. S. R.).
187. **Holler, Kurt**, Dr., Assistent am geol.-mineralog. Institut der Techn. Hochschule, **Darmstadt**, Magdalenenstraße 8.

188. *Holzner, Julius*, Dr., Assistent am Mineralog.-petr. Institut der Universität, **Gießen**.
189. *Hoppe, W.*, Dr. phil., **Jena**, Prinzessinnengarten 4 (Geol. Landesuntersuchung).
190. *Hsieh, C. Y.*, Professor, Geologe der chinesischen Landesanstalt, **Peking**. Adresse unbekannt.
191. *Hugi, E.*, Dr., Professor, **Bern**, Schänzlistr. 47.
192. *Hummel, Karl*, Dr., Professor, **Gießen**, Georg Philipp Gailstraße 8.
193. *Huth, Willi*, Dr. phil., **Sofia** (Bulgarien), Deutsche Schule.
194. *Huttenlocher, Heinrich*, Dr., Privatdozent, **Bern**, Tannacherstraße 26.
195. *I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft*, Zentralbibliothek, **Bitterfeld**.
196. *Innsbruck*, Geologisches Institut der Universität.
197. *Innsbruck*, Mineralog.-petrographisches Institut, Alte Universität.
198. *Ito, Teiichi*, Professor, Mineralogical Institution, Imperial University, **Tokyo** (Japan).
199. *Iwanoff, L.*, Prof., Berginstitut, **Dnjepropetrowsk** (U. d. S. S. R.), Mineralogisches Kabinett.
200. *Jacoby, Kurt*, **Leipzig C 1**, Markgrafenstr. 6. i. Fa. Akademische Verlagsgesellschaft.
201. *Jacoby, Richard*, Dr., **Berlin NW 87**, Sickingenstr. 71, i. Fa. Osram G. m. b. H.
202. *Jahn, A.*, Apotheker, Mineralienhandlung, **Plauen i. V.** Oberer Graben 91.
203. *Jakob, Johann*, Dr., Professor, Mineral-petrograph. Institut d. eidgenössischen Techn. Hochschule, **Zürich**.
204. *Jena*, Gesellschaft für Mineralogie und Geologie.
205. *Jena*, Mineralogisches Institut der Universität, Schillerstr. 12.
206. *Johannsen, Albert*, Dr., Professor, Rosenwald Hall, University of Chicago, **Chicago** (Ill.), U. S. A.
207. **Johnsen, A.*, Dr., Professor, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43, Mineralog.-petrogr. Institut. (G.)
208. *Jones, William R.*, Dr., **London SW 7**, South Kensington, Geol. Department, Royal School of Mines., Dep. Imp. College of Science.
209. *Jugovics, Ludwig*, Dr., Hochschulprofessor, **Monor** bei Budapest, Ungarn.
210. *Jung, Hermann*, Dr., Privatdozent, **Jena**, Mineral. Institut d. Universität, Schillerstr. 12.
211. *Kahrs, E.*, Dr., Direktor des Museums der Stadt Essen für Natur- u. Völkerkunde, **Essen**, Am Westbahnhof 2. (G.)

212. **Kaiser, E.**, Dr., Professor, Geh. Regierungsrat, Institut f. allgem. u. angewandte Geologie, **München**, Neuhauserstr. 51. (G.)
213. **Kalb, Georg Willi**, Dr., Professor, Mineralog.-geologisches Inst., **Köln**, Severinswall 38.
214. **Kali-Forschungsanstalt**, G. m. b. H., **Berlin SW 11**, Schönebergerstraße 5.
215. **v. Karabacek, Hans**, Ritter, Dr., Direktor, **Wien V**, Hauslabgasse 7. (G.)
216. **Kärgel, Walter**, Dr., Chemiker, **Berlin SO 36**, Bethanien Ufer 2.
217. **Karlsruhe i. B.**, Geolog.-mineralog. Institut d. Technischen Hochschule.
218. **Kasan** (Rußland), Mineralog. Institut der Staatsuniversität (Prof. Krotov).
219. **Kassel**, Reichsbahndirektion, Kölnische Str. 81.
220. **Kästner, Fritz**, Dr., **Leipzig N 24**, Stöckelstr. 58.
221. **Kempff, H.**, Dr. med., **Leipzig W 33**, Demmeringstr. 45.
222. **Kessler, C. W., Söhne, Idar** (Rhld.), Hauptstraße 140.
223. **Kiel**, Mineralog. Institut der Universität, Schwanenweg 20 a.
224. **Küllig, Franz**, Dr., **Degerhamn** (Öland, Schweden).
225. **Klemm, G.**, Dr., Professor, Oberbergrat, **Darmstadt** (Hessen), Wittmannstraße 15.
226. **Klemm, Richard**, Dr.-Ing., Dipl.-Ing., **Ludwigshafen a. Rh.**, Gartenstadt Mundenheim, Eschenweg 13.
227. **Klingner, Fritz Erdmann**, Dr., **Salzderhelden** (Prov. Hannover).
228. **Klockmann, F.**, Dr., Professor, Geh. Reg.-Rat, **Aachen**, Lousbergstr. 3. (G.)
229. **Koch, Leo**, Dr. phil., **Köln**, Geolog. Institut der Universität, Severinswall 38.
230. **Koechlin, Rud.**, Dr., Hofrat, **Wien V/1**, Siebenbrunneng. 29. (G.)
231. **Köhler, Alexander**, Dr., Dozent am Min.-petrogr. Institut d. Universität, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3.
232. **Köhler, Eberhard**, Dr., **Jena**, Johannesplatz 7.
233. **Kolbe, Ernst**, Dr. phil., Assistent am Mineralog. Institut der Universität, **Marburg**, Deutschhausstraße.
234. **Kolbeck, F.**, Dr. Dr. d. techn. Wiss. E. h., Professor, Geh. Berg-rat, **Freiberg** in Sachsen, Marienstr. 1. (G.)
235. **Kölbl, Leopold**, Dr., **Wien XVIII**, Hochschule für Bodenkultur
236. **Köln**, Geologisches Institut der Universität, Severinswall 38.
237. **Königsberg i. Pr.**, Geolog.-Paläontolog. Institut der Universität, Lange Reihe 4.
238. **Königsberg i. Pr.**, Min. Institut der Universität, Steindamm 6.
239. **Körber, F.**, Dr. phil., Professor, Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Eisenforschung, **Düsseldorf**, Im Rottfeld 10.

240. **Kordes, Ernst**, Dr., **Leipzig C 1**, Talstr. 38, Mineral. Institut d. Univers.
241. **Korn, Doris**, Dr., **Aachen**, Mineralog. Institut der Technischen Hochschule.
242. **Koref, Fritz**, Dr. phil., Osramgesellschaft G. m. b. H., **Berlin O 17**, Ehrenbergstr. 11—14.
243. **Korring, Ernst**, Dr., Studienrat, **Berlin-Karow**, Busonistr. 25.
244. **Kratzert, J.**, Dr., **Stettin**, Angermünderstr. 9.
245. **Krentz, Stephan**, Dr., Professor der Universität **Krakau** (Polen), Wolska 17. (G.)
246. ***Krishnan, M. S. Ph.**, Dr., Assistant Superintendent, Geol. Survey of India, **Calcutta**, 27. Chowringhee.
247. **Krüger, Fr.**, Dr., Prof., **Greifswald**, Physikalisches Institut der Universität.
248. **Ktenas, Konstantin A.**, Professor, **Athen** (Griechenland), Akademiestr. 38.
249. **Küchler, H.**, Dr., Studienrat, **Sonneberg** (Thür.), Marienstr. 15.
250. **Kühlwein, Fritz Ludwig**, Dr.-Ing., Dipl.-Bergingenieur, Bergassessor, **Hamburg 10**, Bahnstr. 5.
251. **Kühne, H.**, Dr., ordentl. Vorstandsmitglied d. I. G. Farbenindustrie A. G., **Leverkusen b. Köln**.
252. **Kukuk, Paul**, Dr., Professor, Bergassessor a. D., **Bochum**, Berggewerkschaftskasse, Geolog. Abteilung, Hernerstr. 45.
253. **Kunitz, Wilhelm**, Dr., **Halle a. S.**, Mineral. Institut d. Universität, Domstr. 5; privat: Rainstr. 17.
254. **Kupás, Jul.**, Städt. Notar, **Baia-Mare** (Nagybánya), Rumänien.
255. **Kurauchi, Ginjiro**, Bergingenieur, Assistent an der Imperial University, **Kyoto**, Japan.
256. **Kusche, A.**, **München**, Leopoldstraße 126I. (G.)
257. **Lameyer, Wilhelm**, Juwelier, **Hannover**, Georgstr. 26.
258. **Lang, Richard**, Dr., Professor, **München**, Kaulbachstr. 11 a.
259. **Laves, Fritz**, Dr., **Göttingen**, Miner. Inst. d. Univ.
260. **Lehmann, Emil**, Dr., Professor, **Gießen**, Mineral. Institut d. Universität.
261. **Lehmann, Hans**, Dr., Ing., **Dresden N 6**, Leipzigerstr. 8.
262. **Lehmann, Walter**, Dr., **Hamburg 33**, Steilshoperstr. 45 47.
263. **Leiden** (Holland), Rijks Geologisch-Mineralogisch Museum, Garenmarkt 1 c.
264. **Leipzig**, Geolog.-palacont. Institut der Universität, Talstr. 35 II.
265. **Leipzig**, Institut für Mineralogie und Petrographie, Talstr. 38.
266. **Leiss, Carl**, Dr. h. c., Optische und feinmechanische Werkstätte, **Berlin-Steglitz**, Stubenrauchplatz 1. (G.)
267. **Leitz, Ernst**, Optische Werke (Bücherei), **Wetzlar**.

268. **Leonhardt, Johannes**, Dr., Privatdozent, **Kiel**, Miner. Inst. d. Universität, Schwanenweg 20 a.
269. **Liesegang, Raphael E.**, Dr. h. c., **Frankfurt a. M.**, Schloßstr. 21.
270. **Lietz, Joachim**, Dr., **Reinbek**, Holstein, Waldstr. 9.
271. **Limbrock, P. H.**, Missionar, **Larantuka** (Eiland Flores, Niederl. Ostindien), durch Missionsprokurator Steyl, Post Kaldenkirchen (Rhld.), Postfach 26.
272. **Lindley, H. W.**, Dr. phil., **Berlin-Charlottenburg**, Min. Inst. d. Techn. Hochschule, Berlinerstr. 170.
273. **Loebe, R.**, Dr., Professor, **Waidmannslust** bei Berlin, Waidmannstr. 31.
274. **Löffler, Richard**, Dr., Bergrat, **Schwäbisch Gemünd**, Obere Zeiselbergstr. 11.
275. **Lotze, Reinhold**, Dr. phil., Ober-Regierungsrat, **Stuttgart**, Seestraße 78.
276. **Ludwig, Paul F.**, Weiszwasser O. L. i. Fa. Glasfabrik Weiszwasser.
277. **Machatschki, Felix**, Dr. phil., Prof., **Tübingen**, Mineral. Inst. der Universität.
278. **Mahl, Karl**, Dr., **Karlsruhe**, Sofienstr. 152.
279. „**Maja**“, Berg- und Hüttenmänn. Verein, **Clausthal** (Harz), Sorge 800.
280. **Marburg**, Hessen, Mineralog. Institut der Universität.
281. **Marburg**, Hessen, Universitätsbibliothek.
282. **Marchet, Arthur**, Dr., Professor, Mineral.-petrogr. Institut, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3.
283. **Maria-Laach**, Bibliothek der Abtei.
284. **v. Matuschka, Franz**, Graf, Dr., **Berlin-Schöneberg**, Innsbrucker Str. 44.
285. **Matveijeff, Constantin**, Dr., Professor, Ecole Polytechnique de **Swierdlovsk** (Oural), U. S. S. R.
286. **Mauritz, Béla**, Dr., Professor, **Budapest VIII**, Muzeum-Körut 4.
287. **Mc Caughey, Wm. J.**, Dr., Professor, Ohio State University, Dept. of Mineralogy, **Columbus** (Ohio), U. S. A.
288. **Mayer, F. K.**, Mineralog. Institut d. Univ., **Jena**, Schillerstr. 12 (privat: Lutherstr. 148).
289. **Meents, R. O.**, Bergingenieur, **Terrell** (Texas), U. S. A.
290. **Mehmel, Martin**, cand. chem., **Leipzig C 1**, Mineral. Institut, Talstr. 38 (privat: Leipzig O 30, Mariannenstr. 64 IIr).
291. **Menzel, Georg**, Dr., Privatdozent a. d. Univ. Berlin, Assistent am Min.-petr. Institut, **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43.
292. **Michel, Herrmann**, Dr., **Wien I**, Burgring 7, Naturhist. Staatsmuseum.

293. **Möckel, Konrad**, Dr., Mittelschulprofessor, **Großpold** (Apol-
dulse sus), Rumänien (Siebenbürgen).
294. **Moritz, Heinrich**, Dipl.-Berging. Mineral. Inst. d. Univ., **Frei-
burg** i. Br., Bertholdstr. 17.
295. **Mühlen, von zur, L.**, Dr. phil., Geolog. Landesanstalt, **Berlin N 4**,
Invalidenstr. 44.
296. **Müller, Heinrich**, Dr., Assistent am Min.-geol. Staatsinstitut,
Hamburg 5, Lübeckerthor 22.
297. **Müller, Karl**, Dr., **Neckarsteinach**, Hirschhornerstraße.
298. **Müllers, Peter**, Dr. **Jena**, Jansonstraße 30.
299. **Müller, Wilhelm**, Studienrat, **Dessau**, Moßstr. 22.
300. **München**, Bayer. Staatsbibliothek.
301. **München**, Mineralog. Staatssammlung, Neuhauserstr. 51.
302. **Nacken, R.**, Dr., Professor, **Frankfurt a. M.** 17, Victoria-
Allee 5. (G.)
303. **Nagelschmidt, G.**, Dr., Assistent, **Rostock**, Mineralogisch-
geolog. Institut, Wismarschestr. 8.
304. ***Naumann, M.**, Dr., Fabrikbesitzer, i. Fa. Serpentinsteinwaren-
fabrik R. Naumann, **Waldheim** i. Sa.
305. **Nieland, Hans**, Dr., Privatdozent, **Heidelberg**, Mineral. Inst.
d. Univ. Hauptstr. 47/51, privat: Zeppelinstraße 26.
306. **Niggli, P.**, Dr., Professor. **Zürich 6**, Mineralog. Institut d. eidgen.
Techn. Hochschule, Sonneggstr. 5.
307. **Nikoloff, Naum**, Professor für Mineralogie und Petrographie.
Sofia, Mineral-petr. Institut der Universität.
308. **Noll, Walter**, Dr., **Göttingen**, Mineral. Inst. d. Universität.
309. ***Nottmeyer, Otto**, Dr.-Ing., Dipl.-Bergingenieur, **Bad Oeyn-
hausen**, Wiesenstr. 23.
310. **Nugel, Karl**, Dr.-Ing., Assessor, Geschäftsführendes Vorstands-
mitglied der Gesellsch. Deutscher Metallhütten- und Bergleute.
Berlin W 35, Lützowstr. 89/90.
311. **Nürnberg**, Geolog. Sektion der Naturhistorischen Gesellschaft,
Luitpoldhaus, Gewerbemuseumsplatz 4.
312. **Obenauer, K.**, Dr., **Bonn a. Rhein**, Assistent am Mineralogi-
schen Institut der Universität. Wohnung: Kurfürstenstr. 65.
313. **Obermüller, Walther**, i. Fa. E. Schweizerbartsche Verlags-
buchhandlung, **Stuttgart**, Johannesstr. 3a.
314. **O'Daniel, Herbert**, Dr., **München**, Arcisstraße, Mineralog.-geol.
Institut der Technischen Hochschule.
315. **Olsacher, Juan**, Dr., Assistent a. Mineral.-geol. Institut der
Universität, **Cordoba** (Rep. Argentina).
316. **Pabisch, Heinrich**, Professor, **Wien VI**, Grasgasse 5. (G.)

317. **Palache, Charles**, Professor an der Harvard Universität, Cambridge, Mass. U. S. A., Oxford Street, Department of Mineralogy and Petrography.
318. **Pardillo, Francisco**, Prof., Universität **Barcelona** (Spanien).
319. **Parker, Robert**, Dr., Mineral. Institut d. eidgen. Techn. Hochschule, Zürich 6, Sonneggstr. 5, privat Rotbuchstr. 8.
320. **Pastore, Franco**, Dr., Facultad de Ciencias Exactas, **Buenos Aires** (Argentinien), Calle Peru 222.
321. **Pauli, O.**, Dr., Studienrat, **Frankfurt a. M.**, Beethovenstr. 38 I.
322. ***Petrascheck, W.**, Dr., Professor, montan. Hochschule **Leoben**.
323. **Petrow, Kurt**, Dr., Studienrat, **Spandau**, Straßburgerstr. 43.
324. **v. Philipsborn, Hellmut**, Dr., Professor, **Freiberg i. Sa.**, Miner. Institut d. Bergakademie, Brennhaugasse 14, Wohnung: Weisbachstr. 8.
325. **Phillips, J. Coles**, Dr., Corpus Christi College, **Cambridge** (England).
326. **Pietzsch, Kurt**, Dr., Landesgeologe, **Leipzig**, Talstr. 35.
327. **Plank, Anton**, Dr., **Bad Nauheim**, Ludwigstr. 15.
328. **Popoff, Boris**, Dr., Professor, **Riga**, Popoffstr. 8.
329. **Porsche, J.**, Dr., Professor am Staatsrealgymnasium, **Aussig** (C. S. R.), Große Wallstraße. (G.)
330. **Postelmann, Alfred**, Oberstudiendirektor, **Königsberg i. Pr.**, Hufenallee 38/42.
331. **Prager, C.**, Berginspektor und Prokurist der Kaliwerke Niedersachsen, **Celle**, Rhegiusstr. 15.
332. **Preiswerk, H.**, Dr., Professor, **Basel**, Markircherstr. 7.
333. **Preuß, Ekkehard**, cand. mineral., **Jena**, Unterer Philosophenweg 28.
334. **Pulfrich, Max**, Dr., **Berlin-Steglitz**, Kleiststr. 21.
335. **Quensel, Percy D.**, Dr., Professor, **Stockholm**, Mineralogiska Institutionen, Stockholms Högskola, Drottninggatan 118.
336. **Raabe, Wilhelm**, Dr.-Ing., **Littfeld** (Kreis Siegen), Westfalen.
337. **Ramdohr, Paul**, Dr., Professor, Mineralog. Institut d. Techn. Hochschule **Aachen** (Rhld.), Wüllnerstr. 8.
338. **Rasch, Walther**, Dr., **Königsberg i. Pr.**, Mitteltragheim 8 II.
339. **Ray, Suhrid, Kumar**, Ph. D., Professor, Indian School of Mines, **Dhanhab** (Government of India).
340. **Redlich, K. A.**, Dr., Professor, **Prag I**, Huzova 5.
341. **Rech, Erich**, Dipl.-Bergingenieur, **Celle**. Unbekannt verzogen.
342. **Rehwald, Gerhard**, Dipl.-Ing., **Bleicherode** (Südharz), Am Teich. Unbekannt verzogen.
343. **Rein, Eduard**, **Chemnitz**, Annaberger Str. 10. (G.)
344. **Reinhard, M.**, Dr., Professor, **Basel**, Mineralog. Institut der Universität, Münsterplatz 6/7.

345. **Reinicke, R.**, Dr.-Ing., Dr. phil., **Planegg** b. München, Karlstraße 29.
346. **Reuning, Ernst**, Dr., Privatdozent, **Gießen**, Wilhelmstr. 26.
347. **Reusch, Hermann**, Dr., Bergassessor, **Hervest-Dorsten** in Westfalen, Halternerstr. 130.
348. **Reuter, Aug.**, Dr., **Bad Homburg** v. d. H. (G.)
349. **Ries, A.**, Dr., Hochschulprofessor, **Freising** i. Bay., Lyzeum.
350. **Rimann, E.**, Dr., Professor, **Dresden-A. 24**, Mineralog.-geolog. Institut d. techn. Hochschule, Bismarckplatz. (G.)
351. **Rinne, F.**, Dr., Dr.-Ing. e. h., Professor, Geh. Reg.-Rat u. Geh. Hofrat, **Freiburg-Günterstal**, Rehhag 21 (G.)
352. **Rintisch, W.**, Dr., Dipl.-Ing., **Oruro** (Bolivia), Casilla 363 Cerminera S. A.
353. **Ritter, Fritz**, Zahnarzt, **Hildesheim**, Goslarsche Str. 6.
354. **Rösch, Siegfried**, Dr. phil., Privatdozent, **Leipzig**, Mineralog. Institut, Talstr. 38.
355. **Rose, H.**, Dr., Professor, Mineralogisches Institut, **Hamburg 36**, Esplanade 1 c, Privat: **Hamburg 37**, Brahmsallee 59.
356. **Rostock**, Mineral.-Geolog. Institut d. Universität, Wismarschestraße 8.
357. **Rüger, Ludwig**, Dr., Professor, **Heidelberg**, Werderstr. 3.
358. **Rupp, H.**, Dr., Frau, **Berlin-Frohnau**, Hohenheimerstr. 3—4.
359. **Salman, Hermann**, Dr., Privatdozent, **Aachen**, Aureliusstraße 33.
360. **Salomon-Calvi, W.**, Dr., Professor, Geh. Hofrat, **Heidelberg**, Geolog. Institut d. Univ., Hauptstraße. (G.)
361. **de la Sauce, Wilhelm**, Dr.-Ing., Bergassessor, Geschäftsführer des Deutschen Braunkohlen-Industrie-Vereins, **Halle a. S.**, Riebeckplatz 4.
362. **Schaefer, W.**, Dr., Studienrat, **Berlin N 113**, Bornholmerstr. 6.
363. **Schaller, Waldemar T.**, Dr., **Washington D. C.**, U. S. A., Dept. of the Interior. Geological Survey.
364. **Scharffenberg, Georg**, Juwelier, **Dresden-A.**, Seestr. 16.
365. **Scheffer, L.**, Bergassessor, **Paris 9^e**, verzogen unbek.
366. **Scheibener, Edmund**, Dr., Leiter der Mineralog.-petrogr. Abteilung des Institutes für Bodenkunde an der Staatl. Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt (Algemeen Proefstation voor den Landbouw). **Buitenzorg (Java)**.
367. **Scheibler, Adolf**, i. Fa. Scheibler u. Co., **Crefeld**, Roonstr. 81.
368. **Scheumann, K. H.**, Dr., Professor, **Leipzig**, Talstr. 38, Min. Institut d. Universität.
369. **Schiebold, E.**, Dr., Professor, **Leipzig**, Talstr. 38, Mineralog. Institut.

370. *Schiener, Alfred*, Demonstrator am Mineralog.-petrographischen Institut d. Universität **Wien**.
371. *Schildbach, Julie*, **Marienbad** (Ö. S. R.), Goethehaus. (G.)
372. *Schloßmacher, K.*, Dr., Professor, **Königsberg** i. Pr., Mineral. Institut der Universität, Steindamm 6.
373. *Schmid, Erich*, Dr., K. W.-Institut für Metallforschung, **Berlin-Dahlem**, Unter den Eichen 87.
374. *Schmidt, Kurt*, Dr., Studienrat, **Schleiz**, Hoferstraße.
375. *Schmidt, Walter*, Dr. phil., Professor, **Berlin-Charlottenburg**, Mineralog.-petrogr. Inst. d. Techn. Hochschule Berlinerstr. 170
376. *Schmidt, Wilh.*, Dr. phil., Markscheider und Landmesser, **Kamen** (Westf.), Zeche Monopol. Wohnung: Gartenstadt Ost. Nr. 3.
377. *Schnarrenberger, C.*, Dr., Oberbergrat, **Freiburg** i. Br., Eisenbahnstr. 62 a.
378. *Schneiderhöhn, Hans*, Dr., Professor, **Freiburg** i. Br., Mineralogisches Institut der Universität, Burgunderstr. 30.
379. *Schöppe, W.*, Dr.-Ing., Bergdirektor, **Wien VI**, Gumpendorferstraße 8.
380. *Schott und Genossen*, Glaswerk, **Jena**.
381. *Schreiter, Rudolf*, Dr., Professor, **Freiberg** i. Sa., Erbischesstraße 17.
382. *Schröder, Alfred*, Dr., **Hamburg**, Ackermannstr. 2 II.
383. *Schumacher, Friedr.*, Dr.-Ing., Professor, **Freiberg** i. Sa., Geolog. Inst. d. Bergakademie. Wohnung: Jägerstr. 13.
384. *Schwantke, Arthur*, Dr., Professor, **Marburg** Hessen, Mineral. Institut der Universität. (G.)
385. **Schwarzmann, Max*, Dr., Professor, **Karlsruhe** in Baden, Gartenstr. 32. (G.)
386. *Schwinner, R.*, Dr. phil., Professor für Geologie, **Graz**, Schillerstraße 5.
387. *Seebach, Max P. W.*, Dr., **Leipzig-Co.**, Elisenstr. 154. (G.)
388. *Seemann, R.*, Dr. phil., Konservator an der staatl. Naturaliensammlung, **Stuttgart**.
389. *Seidl, Erich*, Dr.-Ing., Geheimrat, **Berlin-Westend**, Tapiau-Allee 6.
390. *Seifert, Hans*, Dr., Professor, Mineralog. Inst., **Berlin N 4**, Invalidenstr. 43.
391. *Seifert, Richard*, Ingenieur und Fabrikbesitzer, **Hamburg 13**, Behnstraße 7—11.
392. *Silberstein, Georg*, **Berlin NW 40**, Calvinstr. 3.
393. *Simon, Wilhelm Georg*, Dr., **Hamburg 24**, Wartenau 7.
394. *Sociedad Científica Argentina*, **Buenos Aires**, Cevallos 269.

395. *Sommer, M.*, Dr., Studienrat, **Marienberg** i. Sa., Ratsstr. 9.
396. *Spangenberg, K.*, Dr., Prof., **Breslau**, Schuhbrücke 38/39.
397. *Stanciu, Victor*, Dr., Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität **Cluj** (Klausenburg), Rumänien, Str. Regele Ferdinand 44.
398. *Stark, Michael*, Dr., Professor, **Praha** (Č. S. R.), Viničná 3. (G.)
399. *Steinhoff, Eduard*, Dr. phil., Leiter des Labor. d. Fa. Aug. Klönne, Priv.-Doz. a. d. Technischen Hochschule Braunschweig, **Braunschweig**, Am Wendenwehr 5.
400. *Steinmetz, H.*, Dr., Professor, **München 2 NW**, Techn. Hochschule, Arcisstr. 21.
401. *Stille, H.*, Dr., Professor, **Berlin**, Geolog. Institut.
402. *Stöber, F.*, Dr., Professor, **Berlin-Schlachtensee**, Adalbertstr. 31.
403. *Stoicovici, Eugen*, Diplomchemiker, **Cluj** (Klausenburg) Rumänien) Mineral. Inst. d. Universität.
404. *Stoklossa, H. Georg*, Dr. phil., Studienassessor, Assistent am Mineralogischen Institut, **Breslau 10**, Lehmdamm 22 (Gths.).
405. *Stolley, E.*, Professor, Dr., **Braunschweig**, Mineralog. u. geol. Institut, Techn. Hochschule.
406. *Storx, Max*, Dr., Privatdozent für Geologie, **München**, Neuhauserstr. 51.
407. *Streckeisen, Albert*, Dr., Professor, Laboratul de Mineralogie, Scoala Politehnică, **Bucuresti** (Rumänien), Calea Grivitei 132.
408. *Stremme, H.*, Dr., Professor, **Danzig-Langfuhr**, Geolog. Institut der techn. Hochschule.
409. *Stützel, Helmüt*, Dr., Assistent am Mineralog.-Geolog. Institut der Techn. Hochschule **Hannover**, Welfengarten 1.
410. *Stutzer, O.*, Dr., Professor, **Freiberg** i. S., Bergakademie.
411. *Sudhaus, Käthe*, Dr., Studienrat, **Frankfurt a. O.**, Wildenbruchstr. 14 II.
412. *Süß, Johannes*, Dr., Studienrat, **Dresden-A. 21**, Schaufußstraße 30 c II.
413. *Sustschinsky, Peter*, Dr., Professor, **Novotscherkassk** (Rußland), Mineralog. Institut, Polytechnikum, Techn. Hochschule.
414. *v. Szentpétery, Sigmund*, Dr., Professor, Universität **Szeged** (Ungarn), Tisza Lajos Körút 6.
415. *Tammann, G.*, Dr., Professor, Geh. Reg.-Rat, **Göttingen**, Schillerstr. 26.
416. *Taubert, E.*, Dr., Studienrat, **Dessau**, Goethestr. 17. (G.)
417. *Terpstra, P.*, Dr., **Groningen** (Holland), Emmasingel 7.
418. *Tertsch, Herm.*, Dr., Landesschulinspektor, **Wien XIV**, Reindorfsgasse 37. (G.)
419. *Tetzner, Arno*, Dr., Assistent am Institut f. Mineralogie und Lötrohrprobierkunde der Bergakademie, **Freiberg** i. Sa.

420. ***Thost, R.**, Dr., **Berlin W 35**, Schöneberger Ufer 12 a. (G.)
421. **Tilley, Cecil E.**, Professor, Sedgwick Museum, **Cambridge**, England.
422. **Tokody, László**, Dr., Privatdozent, **Budapest I**, Műgyetem.
423. **Tröger, E.**, Dr., Dipl.-Bergingenieur, Privatdozent, Mineralog. Institut der techn. Hochschule, **Dresden-A. 24**, Bismarckplatz.
424. **Trondhjem** (Norwegen), Geolog. Institut, Techn. Hochschule.
425. **Trübsbach, Carl Julius**, Dr., **Chemnitz-Furth (Sa.)**, Haus Trübsbach 82.
426. **Tübingen**, Mineralogisches Institut der Universität.
427. **Tübingen**, Universitätsbibliothek.
428. **Ulrich, Fr.**, Dr., Dozent am Min.-petrogr. Institut der Karls-Universität, **Prag II** (Č. S. R.), Albertor 6I.
429. **Umrath, Wilhelm**, **Graz III**, Hochsteing. 59. (G.)
430. **Utrecht**, Mineral.-geol. Institut d. Universität, Ganzenmarkt 32.
431. **Valeton, J. J. P.**, Dr., Professor, **Würzburg**, Am Exerzierplatz 2.
432. **Vendl, Aladár**, Dr., Professor f. Mineralogie u. Geologie a. d. Techn. Hochschule, **Budapest I**, Rezeda utca 7.
433. **Vendl, Miklos**, Dr., Professor, **Sopron**, Kgl. Ungar. montanist. Hochschule, Mineral.-geol. Institut.
434. **Vernadsky, W.**, Professor, Akademie der Wissenschaften, Mineralog. Museum, **Leningrad**, Wassili Ostrow 7, Linie 2.
435. **Vielmetter, Richard**, Dr., **Hachenburg** (Westerwald), Postfach 30.
436. **Wageningen** (Holland), Geolog. Inst. d. Landbouw Hoogeschool.
437. **Wahl, Walter**, Dr., Professor der Chemie, **Helsingfors** (Finnland), Mariegatan 7.
438. **Waitz, Paul**, Dr., Tacuba D. F., Calle Parthenon, **Mexico** (Mexico).
439. **Weber, Leonhard**, Dr., Professor, Mineralog. Institut der Universität, **Freiburg** (Schweiz), Schönberg 40.
440. **Weg, Max**, Verlagsbuchhändler, **Leipzig C 1**, Königstr. 3. (G.)
441. **Weigand, W.**, **Berlin-Wilmersdorf**, Landauerstr. 1.
442. **Weigel, O.**, Dr., Professor, **Marburg** (Hessen), Mineralog. Institut.
443. **Weikert, Karl**, **Berlin-Friedenau**, Stubenrauchstr. 52.
444. **Weise, Curt**, Dr., **Stolzenhagen-Kratzvieck** b. Stettin, Eisenportlandzementwerk d. Hütte Kraft.
445. **Wellhöfer, Bernhard**, Dr., Comision geologica Jag. petr. fisc., Chubut (Argentinien).
446. **Wendekamm, Karl**, Dr., **Leipzig C 1**, Posadowskylanlage 3I, bei Grunert.
447. **Werner, Heinrich**, Bergrat, **Celle** (Hann.), Bahnhofstr. 30II.
448. **Wernicke, Friedrich**, Dipl.-Ing., **Leipzig C 1**, Talstraße 35, Geolog. Landesamt.
449. **Wetzel, W.**, Dr., Professor, **Kiel**, Düppelstraße 71.

450. **Wien**, Mineralog.-petrograph. Institut der Universität, **Wien I**, Ring des 12. Novembers 3.
451. **Wien**, Mineralog.-petrogr. Abteilung des naturhist. Museums, **Wien I**, Burgring 7.
452. **Winkel, R.**, G. m. b. H., **Göttingen**, Königsallee 21.
453. **Witteborg, Werner**, Dr., **Wuppertal-Barmen**, Schwartznerstraße 11.
454. **v. Wolff, F.**, Dr., Professor, **Halle a. S.**, Mineralog. Institut, Domstraße 5. (G.)
455. **Wolff, John E.**, Professor, **Pasadena** (Californien, U. S. A.), 360 South Grand Ave.
456. **Würzburg**, Mineralog.-geolog. Institut der Universität.
457. **Zaleski, Stanislaus**, cand. chem., Burgrichter, **Skarzysko-Kamienna**, Wojewodschaft Kielce, Polen.
458. **Zedlitz, Otto**, Dr., Assistent am mineralog. Institut, **Tübingen**, Universität, Hölderlinstr. 29.
459. **Carl Zeiss**, Fa. Optische Werkstätte, **Jena**, Abteil. Bibliothek.
460. **Zocher, Hans**, Dr. phil., Prof., **Prag** (Bubeneč), Terronska 697.
461. **Zückert, Richard**, Dr.-Ing., Bergingenieur, **Budweis** (Č. S. R.), Gerstenerstr. 319.
462. **Zürich**, Mineralog. Inst. der Techn. Hochschule Sonneggstr. 5.

(* bezeichnet lebenslängliche, (G.) im Gründungsjahr eingetretene Mitglieder.)

Änderungen der **Anschrift** und Fehler in diesem Verzeichnis wolle man dem Schriftführer, Herrn Professor Dr. **H. von Philipsborn**, Freiberg i. Sa., Mineral. Inst., Bergakademie, **sofort** mitteilen.

Zahlungen bitten wir zu richten:

An den **Schatzmeister** der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft:
Herrn Dr. **R. Thost**, **Berlin W 35**, Schöneberger Ufer 12^a.

oder

An die **Deutsche Mineralogische Gesellschaft**, **Berlin W 35**,
Postscheckkonto Berlin NW 7 Nr. 112678

oder

Bankkonto Nr. 10666 bei der Dresdner Bank, Depositenkasse 52, **Berlin W 9**, Potsdamer Str. 20.

An den **Schatzmeister** wolle man auch alle Anfragen über Preis und Bezug von **älteren Jahrgängen der „Fortschritte“** richten.

Der Vorstand ist zur Zeit wie folgt zusammengesetzt:

Vorsitzender: Prof. Dr. **W. Eitel**, Berlin.

I. Stellvertreter: Prof. Dr. **O. Weigel**, Marburg.

II. Stellvertreter: Prof. Dr. **H. Rose**, Hamburg.

Schatzmeister: Dr. **R. Thost**, Berlin.

Schriftführer: Prof. Dr. **H. v. Philipsborn**, Freiberg i. Sa.

Redakteur der „Fortschritte“: Prof. Dr. **W. Eitel**, Berlin-Dahlem.

Der wissenschaftliche Beirat besteht zur Zeit aus folgenden Herren:

1. Professor Dr. **P. Niggli**, Zürich.

2. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. **Fr. Rinne**, Freiburg i. Br.

3. Prof. Dr. **A. Johnsen**, Berlin.
